

UNIVERSITE DU QUEBEC

MEMOIRE

PRESENTE A

L'UNIVERSITE DU QUEBEC A TROIS-RIVIERES

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAITRISE EN PSYCHOLOGIE

PAR STEPHANE DUBE

L'ASYMETRIE PERCEPTUELLE DE LA SENSIBILITE SPECTRALE

DECEMBRE 1989

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

Table des matières

Introduction.....	1
Chapitre I - La sensibilité spectrale et l'asymétrie perceptuelle...	4
Contexte théorique et expérimental.....	5
Hypothèses.....	37
Chapitre II - Description de l'expérience.....	38
Sujets.....	39
Appareils.....	39
Procédure.....	44
Chapitre III - Analyse des résultats et discussion.....	50
Résultats.....	55
Discussion et interprétation des résultats.....	64
Conclusion.....	79

Sommaire

Il est bien connu que les deux hémisphères cérébraux ont des fonctions particulières. En effet, l'hémisphère gauche est impliqué dans les fonctions verbales, alors que l'hémisphère droit est associé aux fonctions visuo-spatiales. Cependant très peu d'études ont montré une asymétrie pour la couleur. La présente recherche s'intéresse donc à l'asymétrie hémisphérique visuelle concernant le traitement de l'information colorée au niveau cortical. Le paradigme expérimental implique la stimulation successive des hémirétines nasales et temporales de chaque oeil afin de permettre à l'information visuelle de rejoindre l'un ou l'autre hémisphère en tenant compte des projections anatomiques du système visuel.

Quatre sujets humains avec une vision trichromatique normale ont été testés à l'aide de la méthode d'égalisation des brillances hétérochromatiques. Celle-ci consiste à établir le point d'égalité subjectif des sujets pour différentes longueurs d'onde et de le diviser par la valeur objective mesurée à l'aide du photomètre. De cette façon les courbes de sensibilité spectrale sont tracées pour l'ensemble des conditions de stimulation.

Les résultats indiquent une supériorité du champ visuel gauche favorisant l'hémisphère droit. Cette supériorité

hémisphérique droite ne se manifeste que pour la partie centrale du spectre visible (vert, jaune), alors que pour les extrémités du spectre les courbes de sensibilité spectrale de chacun des hémisphères se confondent. Les données ne permettent pas de conclure à l'existence d'une supériorité de l'hémirétine nasale sur sa consœur temporale. L'émergence d'une supériorité de l'hémisphère droit pour le traitement de l'information chromatique est discutée dans le cadre des théories sur la spécialisation hémisphérique complémentaire.

Introduction

Cette recherche est un essai qui s'inscrit dans le courant des recherches sur l'asymétrie hémisphérique visant à approfondir la compréhension du fonctionnement cérébral. Cette asymétrie à la fois biologique et fonctionnelle du cerveau humain se traduit par une spécialisation hémisphérique observée pour un ensemble varié de fonctions.

L'expérience a pour but de tracer les courbes de sensibilité spectrale photopique pour un ensemble de longueurs d'onde selon différentes conditions de stimulation destinées à produire une latéralisation visuelle des stimulations. Quatre sujets sont stimulés successivement sur les hémirétines nasale et temporale de chaque oeil.

La comparaison des courbes obtenues pour les deux champs visuels pourrait suggérer qu'il existe une différence significative entre les courbes de sensibilité spectrale issues des deux champs visuels. Cette différence devrait indiquer une supériorité de l'hémisphère droit pour le traitement de la sensibilité spectrale. De plus les résultats en vision centrale sont comparés avec la fonction $V(\lambda)$ proposée par la commission

internationale de l'éclairage pour s'assurer d'une stimulation adéquate.

L'intérêt de cette recherche provient du fait que très peu de recherches ont tenté de vérifier la contribution des deux hémirétines et par la suite des deux hémisphères pour ce type de tâche spécifique. Les seules à l'avoir fait ont montré des résultats contradictoires. Davidoff (1976) a montré par exemple une supériorité de l'hémisphère droit pour la brillance de stimuli colorés; alors que d'autres n'ont trouvé aucune différence (St-Arnaud 1987).

Cette expérience a pour but d'examiner la contribution à la fois des hémirétines et des hémisphères concernant le traitement de l'information chromatique.

Chapitre I

La sensibilité spectrale et l'asymétrie perceptuelle.

Le cerveau humain comme celui de la plupart des mammifères est composé de deux hémisphères. Ceux-ci, bien qu'apparemment identiques, présentent un ensemble d'asymétries anatomiques telles que démontrées par Geshwind et Levitsky (1968) et observées par la suite dans plusieurs autres études (Wada, Clarke, Hamm, 1975; LeMay, 1976; Witelson, 1977; Galaburda, LeMay et Kemper, 1978). Ces différences anatomiques offrent maintenant une base à l'asymétrie fonctionnelle du système nerveux et à la latéralisation manifeste de son fonctionnement.

Ainsi les observations cliniques et les recherches menées chez l'Homme montrent que selon le type de tâche à effectuer, on peut observer des différences entre les deux hémisphères cérébraux concernant le traitement de l'information. Ces différences ou asymétries fonctionnelles sont en sorte l'essence même du concept de spécialisation ou de dominance hémisphérique. Dans ce sens la dominance ainsi que la spécialisation hémisphérique réfèrent à la reconnaissance d'habiletés fonctionnelles particulières à chacun des deux hémisphères. Le concept de dominance cérébrale a évolué pour passer d'une dominance absolue d'un hémisphère sur l'autre, au

début du siècle, à une dominance fonctionnelle relative, aujourd'hui localisée dans l'un ou l'autre des deux hémisphères.

Sous cet angle le concept de spécialisation hémisphérique suppose le développement de fonctions cérébrales complémentaires, le corps calleux amenant les hémisphères à échanger leurs informations afin que l'individu puisse parvenir à une unification de ses réponses (Hécaen, 1977). Les connaissances actuelles dans le domaine de la neuropsychologie au sujet des différentes fonctions cérébrales tendent maintenant à attribuer à chacun des deux hémisphères cérébraux une importance équivalente, bien que chacun soit responsable de fonctions différentes.

Toutefois, afin de comprendre aujourd'hui les mécanismes régissant le fonctionnement du cerveau il est nécessaire d'identifier précisément les diverses variables pouvant influencer le traitement de l'information. Cette précision est importante puisque pour des fonctions relativement bien identifiées, il arrive quelquefois que celles-ci fluctuent dans leur patrons de latéralité, passant d'une supériorité de l'hémisphère gauche à une supériorité de l'hémisphère droit et vice versa (Hellige et Cox 1976; Levy et Trevarthen 1976). Ces fluctuations mettent à nouveau l'accent sur la composante

dynamique de l'asymétrie fonctionnelle. Pour résumer il semble que "la contribution de chaque hémisphère à une fonction puisse varier selon certains facteurs tels la nature de la tâche à accomplir, le contexte dans lequel elle se déroule et les stratégies de résolution adoptées" (Sergent 1987). Néanmoins il existe un ensemble de fonctions qui peuvent être associées avec une certaine assurance à l'un ou l'autre des deux hémisphères.

L'asymétrie fonctionnelle du cerveau humain.

Il est reconnu maintenant que l'hémisphère gauche est préférentiellement impliqué dans l'intégration et les productions linguistiques. A l'appui, les résultats typiquement cités indiquent que 92% des sujets droitiers et 69% des sujets gauchers possèdent leurs fonctions linguistiques localisées dans l'hémisphère gauche. Il est de plus entendu que l'hémisphère droit des individus possédant leurs fonctions langagières dans l'hémisphère gauche, montre un avantage sur ce dernier pour la performance de plusieurs fonctions perceptuelles uniques et complexes (Milner, Branch, et Rasmussen, 1964).

Par exemple, Gazzaniga (1967) montre que lorsque l'hémisphère droit est testé chez des patients commissurotomisés, il performe mieux que le gauche pour la construction de dessins avec blocs et la reproduction de figures géométriques. Ces constatations sont aussi compatibles avec la manifestation d'une apraxie constructive suite à un dommage du lobe pariétal droit (Arrigoni et De Renzi, 1964). De plus, aussi longtemps qu'une réponse manuelle et non-verbale est requise, l'hémisphère droit est supérieur au gauche pour la reconnaissance de formes, spécialement celles qui ne peuvent être nommées aisément (Milner et Taylor, 1972).

Pour Woodruff et Baisden (1986) ces observations mènent à la conclusion que l'hémisphère droit fonctionne sur un mode qui emploie un traitement perceptuel synthétique direct en plus d'un type de mémoire similaire. Il est aussi supérieur à l'hémisphère analytique et langagier gauche dans des tâches qui requièrent une synthèse de patrons sensoriels complexes comme par exemple la reconnaissance de visages (Sergent 1982a; Damasio, Damasio et Van Hoesen 1982).

Dans un autre ordre d'idée, Heilman, Scholes et Watson (1975) proposent que les émotions peuvent aussi être associées avec une plus grande participation de l'hémisphère droit puisque

son intégrité s'avère nécessaire pour la compréhension et l'expression du ton émotionnel de la parole (prosodie). Ainsi Ross (1981) souligne qu'une atteinte cérébrale droite peut produire quelquefois une aprosodie chez un sujet. Wapner, Hamby et Gardner (1981) montrent aussi que des sujets atteints d'une lésion de l'hémisphère droit éprouvent de la difficulté à évaluer le contenu émotionnel d'une histoire. De plus ils ont de la difficulté à saisir de façon appropriée le moment culminant dans une plaisanterie en plus d'éprouver de la difficulté à juger de la véracité d'une histoire. Wapner et ses collègues interprètent donc ces données comme indiquant qu'une personne avec un dommage de l'hémisphère non-dominant en ce qui concerne le langage fait preuve de beaucoup de difficultés dans l'interprétation de matériel linguistique complexe, spécialement lorsqu'il dépend de l'intégration contextuelle.

Pour Dyson et Watkins (1984) il existe une analogie marquée entre le contour mélodique et la prosodie. Par conséquent à un niveau fonctionnel il est possible selon eux d'avancer l'existence d'un système commun pour le traitement du contour mélodique de la musique et de la parole. La possibilité que ce système puisse être sous-tendu par un circuit neuronal unique pour les deux contours, se voit supportée par le fait qu'à la fois la prosodie et le contour mélodique sont perturbés par

une lésion de l'hémisphère droit (Behrens 1985 voir Peretz sous presse).

Comme il fut souligné plus tôt, l'hémisphère gauche est impliqué dans le traitement de la parole, du langage et du calcul. Dans les faits ces différences semblent davantage attribuables au mode selon lequel l'information est traitée plutôt qu'aux stimulations spécifiques ainsi qu'aux modalités de présentation (Brown et Hécaen 1976). En d'autres mots, l'hémisphère gauche semblerait mieux équipé pour traiter l'information de type analytique, logique et ou séquentielle. Par conséquent un fait remarquable est que le langage s'avère un excellent outil pour ce type de pensée ou de fonctionnement.

L'hémisphère droit semblerait toutefois généralement fonctionner sur un mode holistique, ou parallèle; tel que suggéré par son efficacité dans le traitement des figures non-verbales, des transformations complexes de patrons visuels (Milner 1962), et de la rotation mentale (Corballis et Sergent 1989). Levy, Trevarthen et Sperry (1972) remarquent aussi que le traitement de l'information qui ne se prête pas bien à la médiation verbale, comme par exemple la représentation d'un environnement diffus, s'effectue surtout dans l'hémisphère droit. D'autres études ajoutent entre autre aux fonctions non-verbales communément

assumées par l'hémisphère droit, un aspect mnémonique non-verbal tel la mémoire des lieux (Stark 1961) ainsi que la perception de la profondeur (Carmon et Bechtoldt 1969) et enfin l'intégration motrice (Kimura 1967).

Malgré l'ensemble des connaissances actuelles entourant la spécialisation hémisphérique complémentaire, l'unification dynamique du fonctionnement cérébral n'est toutefois pas complètement élucidée. Pour ce faire il est nécessaire de poursuivre l'étude spécifique des fonctions cérébrales en parallèle avec leur mode de fonctionnement afin d'obtenir une compréhension intégrée du système nerveux central chez l'individu normal.

La latéralisation chez l'individu normal.

C'est par le raffinement de certaines techniques telles les présentations latéralisées vers un seul hémisphère que l'on peut remarquer chez un individu normal l'apparition d'asymétrie fonctionnelle cérébrale reflétant la spécialisation d'un hémisphère par rapport à l'autre pour une activité donnée. Il est donc possible par ces moyens de soumettre successivement

chacun des deux hémisphères à différentes tâches expérimentales révélatrices de leurs spécialisations respectives.

Pour ces études utilisant la présentation latéralisée du stimulus, il existe deux variables dépendantes qui permettent de conclure à l'existence d'une asymétrie fonctionnelle cérébrale. Il s'agit de la rapidité ainsi que de l'exactitude avec laquelle le cerveau exécute le traitement cognitif de l'information proposée. Par exemple, il est remarqué que les stimulations requérant un traitement verbal de l'information conduisent typiquement à une réponse à la fois plus rapide et plus exacte lorsqu'elles sont présentées de façon tachistoscopique dans le champ visuel droit-hémisphère gauche. A l'opposé, lorsque les stimulations requièrent un traitement visuo-spatial, l'hémisphère droit-champ visuel gauche réalise souvent de meilleures performances que l'hémisphère gauche (Hellige et Cox 1976; Kimura et Dunford 1974).

Pour interpréter ces résultats, Kimura (1966) a proposé un modèle selon lequel la performance d'un individu normal devrait être meilleure lorsque les stimulations ont un accès direct avec l'hémisphère spécialisé pour cette tâche comparativement à un accès indirect. Ainsi, chez l'homme, chaque champ visuel

temporal projette directement à l'hémisphère controlatéral; l'organisation particulière du système visuel fait en sorte que le champ perceptuel est divisé en deux parties trouvant leur jonction au point de fixation.

Tout ce qui se trouve d'un côté du point de fixation vu binoculairement conserve son caractère de latéralité; c'est-à-dire que le champ perceptuel droit par exemple se retrouve entièrement et presque exclusivement représenté dans l'hémisphère controlatéral, soit l'hémisphère gauche. De la même manière le champ perceptuel gauche se retrouve représenté dans l'hémisphère droit. Il existe tout de même une zone dite médiane près du point de fixation où l'information visuelle est représentée au niveau des deux hémisphères de façon bilatérale.

Cette organisation du système visuel permet donc de stimuler un seul hémisphère à la fois lorsque la stimulation est suffisamment périphérique; c'est-à-dire en dehors de la zone de chevauchement des fibres visuelles qui correspond à la région fovéale (voir figure 1).

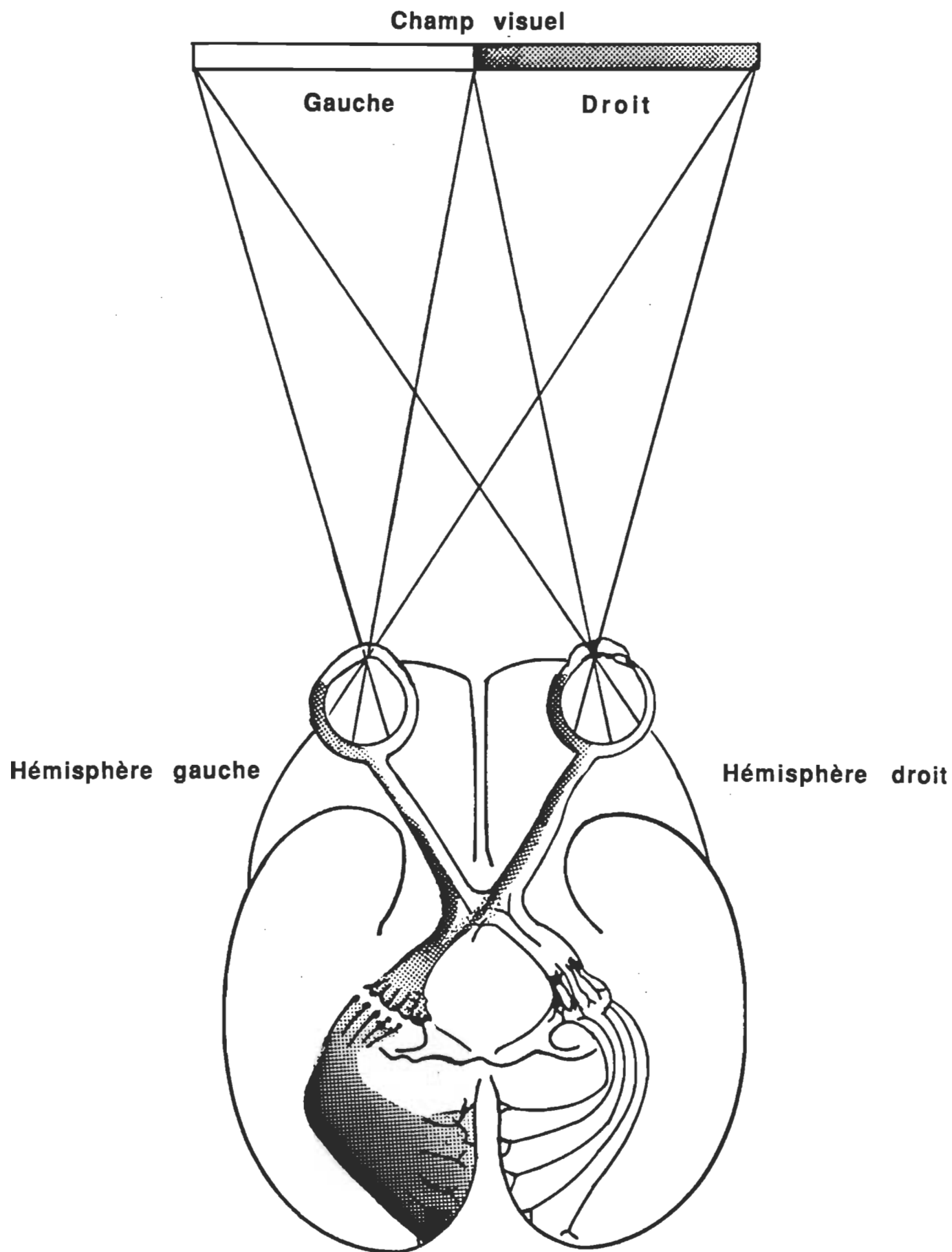


Fig.-1 Schéma des projections visuelles.

A l'aide de cette procédure plusieurs recherches ont été entreprises afin d'identifier plus précisément les fonctions visuo-perceptuelles de l'hémisphère droit. Pour résumer, Kimura (1974) rapporte qu'un nombre de tâches visuelles primaires telles que la localisation d'un point dans l'espace, le balayage visuel rapide pour fin d'énumération, la perception de l'orientation d'une ligne, ainsi que la perception stéréoscopique, engagent préférentiellement l'hémisphère droit. En quelque sorte cette spécialisation hémisphérique droite pour certains processus perceptuels primaires pourrait sous-tendre l'ensemble des fonctions visuo-spaciales plus complexes que l'on attribue aussi à l'hémisphère droit. A l'appui, plusieurs chercheurs indiquent que l'hémisphère droit est meilleur que le gauche dans la discrimination perceptuelle élémentaire de la luminosité. Par exemple la luminance (Davidoff, 1975), et la couleur (Davidoff, 1976; Pennal, 1977; Pirot, Pulton et Sutker, 1977) semblent toutes être des stimulations impliquant une plus grande participation de l'hémisphère droit. A partir de ses observations concernant la perception des couleurs, Pennal (1977) a proposé comme région responsable une zone cérébrale située juste au dessus de la scissure calcarine droite. Cette proposition est renforcée par des travaux électro-physiologiques montrant une zone similaire, V4 chez le singe (Zeki 1980). La thèse de Pennal

est que un peu comme l'aire de Broca dans l'hémisphère gauche est responsable du langage parlé, cette zone pourrait être particulièrement responsable de la discrimination des couleurs. Dans les faits cette proposition est aussi soutenue par des études qui démontrent que les lésions du cerveau localisées dans l'hémisphère droit postérieur produisent souvent une altération de la perception des couleurs (Critchley 1965) ou une perte complète de cette faculté dans le champ visuel tout entier (Pallis 1955).

Ces différentes observations ajoutent sans contredit à l'existence d'une asymétrie fonctionnelle et à l'identification d'un ensemble de compétences spécifiques reliées à chacun des hémisphères cérébraux. Toutefois comme il fut mentionné précédemment il semble que ces spécialisations cérébrales interagissent de façon dynamique par l'entremise des différentes commissures. Ainsi dans plusieurs expériences récentes l'asymétrie des champs visuels s'avère infirmée, voir même renversée pour certaines conditions expérimentales (Hellige et Cox 1976; Levy et Trevarthen 1976). Par exemple une supériorité du champ visuel droit pour la reconnaissance de formes complexes n'est pas facilement conciliable avec l'explication des voies directes proposée par Kimura (1966). Cependant, ce renversement fonctionnel trouve une explication

plausible dans le modèle dynamique structural attentionnel proposé par Kinsbourne (1974). Par conséquent la dominance d'un champ visuel à un moment donné ne dépendrait pas de l'accès direct mais plutôt de la balance de l'activation hémisphérique à ce moment. De cette façon la performance serait meilleure pour une localisation contralatérale à l'hémisphère le plus activé.

Malheureusement, cette nouvelle proposition n'explique pas tous les résultats et est inconciliable avec les observations recueillies par Hellige et Cox (1976). Ceux-ci remarquent pour leur part que lorsqu'ils augmentent le nombre de mots que les sujets doivent retenir en mémoire (tâche concomitante), la performance de l'hémisphère gauche diminue alors que celle de l'hémisphère droit augmente pour une tâche utilisant la reconnaissance de formes. Il semble bien pour un tel processus dynamique que le facteur critique soit l'espace de traitement encore accessible lorsqu'une tâche concomitante est exigée.

Devant la divergence de ces résultats il va de soit que l'étude des asymétries hémisphériques fonctionnelles serait beaucoup plus simple si la latéralité fonctionnelle pouvait être prise comme une indication de la permanence des différents processus hémisphériques tels que suggéré par le modèle de l'accès direct maintenant appelé le modèle structural à

spécialisation fonctionnelle absolue (Cohen 1982).

Malheureusement, les patrons de latéralité sont dynamiques et sont le résultat de plusieurs facteurs; ceux-ci cependant semblent interagir d'une façon qui peut être prédite successivement par l'un ou l'autre des modèles proposés. Dans ce sens la compréhension ainsi que la prédiction de leur fonctionnement à l'aide de différents modèles offrent un espoir quant à leur élucidation.

Jusqu'ici nous nous sommes attardés à décrire un ensemble de particularités fonctionnelles respectif à chacun des deux hémisphères, tel que mis en évidence par la latéralisation des présentations dans le champ visuel, dont la principale composante est la spécialisation d'un groupe de cellules corticales. Cependant l'extraction de l'information visuelle pour ce type de présentation manifeste aussi une asymétrie impliquant tôt dans les voies visuelles, les hémirétines nasales ainsi que temporales. Pour cette raison, en ce qui nous concerne, une attention toute particulière doit être apportée quant à la contribution de chacune d'elles. Ainsi les stimulations monoculaires comme le souligne Davidoff (1982) doivent être utilisées avec une très grande prudence à moins que celles-ci soient elles mêmes le but de l'investigation, comme c'est le cas ici.

L'asymétrie naso-temporale

Dès 1879 Hall et von Kries (voir Rains 1963) soulignèrent l'existence d'une supériorité de la rétine nasale en rapport avec le temps de réaction que les sujets prennent pour rapporter la présence d'une stimulation. Par la suite ces données furent corroborées par Kastner et al. (1907: voir Rains 1963) ainsi que par Poffenberger (1912: voir Rains 1963). Ce n'est que suite au compte des récepteurs rétiniens effectué par Osterberg en 1935 que fut suggérée l'explication la plus plausible concernant le lieu de stimulation rétinien et le temps nécessaire pour que les sujets produisent une réponse. Sur la base de cette hypothèse concernant la densité des récepteurs rétiniens, il est possible maintenant de postuler que pour un stimulus photopique (intensité forte) le facteur perceptuel déterminant soit la densité totale de cônes et de bâtonnets pour n'importe quel lieu rétinien. Alors que pour une stimulation d'intensité faible (scotopique) le facteur déterminant soit la densité de bâtonnets pour un endroit rétinien particulier. De plus par rapport aux positions rétiniennes nasales et temporales, Osterberg précise que la rétine nasale est plus dense que sa consœur temporale

fournissant ainsi un appui anatomique aux observations favorisant une supériorité de l'hémirétine nasale.

Au niveau fonctionnel les voies optiques semblent différer l'une de l'autre comme le suggère Maddess (1974). Ainsi l'hémirétine nasale est plus rapide que l'hémirétine temporale dans l'acheminement de l'information visuelle vers les centres corticaux supérieurs. Il existe quelques évidences anatomiques ainsi que physiologiques indiquant que la voie optique croisée est supérieure à la voie optique non-croisée pour une stimulation à la fois unilatérale et bilatérale (fig.1). Dans ce sens Walls (1953: voir Maddess 1974) souligne la dominance des voies croisées pour la rivalité binoculaire. Alors que pour leur part Doty (1958); Hubel et Wiesel (1962) remarquent une plus grande activation des unités corticales dans l'hémisphère recevant par les voies croisées chez le chat lors de stimulations unilatérales. Chelazzi et al.(1988), en utilisant un simple paradigme de temps de réaction originalement développé par Poffenberger (1912), remarquent que les temps de réaction augmentent progressivement au fur et à mesure que l'excentricité rétinienne augmente. De plus l'hémirétine nasale possède des temps de réaction plus rapides que l'hémirétine temporale. Bref l'avantage nasal versus temporal augmente lorsque les stimuli se déplacent de la fovéa vers la périphérie du champ visuel. En

conclusion, l'ensemble des études qui comparent les voies optiques suggèrent presque toutes une supériorité de l'hémirétine nasale pour une stimulation unilatérale de chaque oeil (Crovitz et Lipscomb 1963; Sampson 1969; Marzi et Di Stefano 1981).

Par contre d'autres résultats indiquent que lors de stimulations monoculaires unilatérales une supériorité de l'hémirétine temporale (voie non-croisée) peut se dessiner lorsque l'exactitude est utilisée comme critère (Markovitz et Weitzman 1969; Neil, Simpson et Gribben 1971). Toutefois Marzi, Antonucci et Pizzamiglio (1982) trouvent à nouveau une supériorité de la rétine nasale (voie croisée) dans une tâche où le mouvement apparent est induit par la rotation du fond ou "background". Cet effet illusionnel est plus grand lorsque produit binoculairement comparativement à une vision monoculaire et met davantage à contribution l'hémirétine nasale par rapport à l'hémirétine temporale.

Marzi, Antonucci et Pizzamiglio (1982) soulignent aussi l'absence de différence hémisphérique pour ce type d'illusion, ce qui selon eux supporte l'idée que l'asymétrie hémisphérique ne survient que lorsque la tâche perceptuelle nécessite un haut niveau de traitement cognitif pour lequel, en général, seul un

hémisphère est spécialisé. En effet il s'avère inutile que deux régions cérébrales soient dévolues à la même fonction.

Considérant ce point de vue, le traitement de niveau inférieur ne nécessitant aucune demande particulière serait représenté de façon symétrique dans chacun des deux hémisphères (Marzi et al. 1979). Cette vision des choses pourrait suggérer que pour l'extraction de l'information visuelle primaire les deux hémisphères devraient performer de façon équivalente.

Dans le but d'investiguer plus précisément la présence ou l'absence de telles asymétries fonctionnelles de même que pour en déterminer la nature physiologique nous utilisons une tâche expérimentale impliquant l'évaluation de la sensibilité spectrale relative. Très peu d'études existent mettant en relation la sensibilité spectrale et la spécialisation hémisphérique. De plus, aucun rapport ne figure à notre connaissance concernant l'implication respective des deux hémirétines pour le traitement de la sensibilité spectrale. Pour ces raisons il s'avère pertinent d'investiguer à la fois l'asymétrie hémirétinienne ainsi qu'hémisphérique pour la sensibilité spectrale.

L'anatomie et la physiologie du système visuel.

La rétine humaine possède un ensemble de récepteurs (les cônes et les bâtonnets) qui par l'entremise des cellules bipolaires se connectent aux cellules ganglionnaires. Les fibres issues des cellules ganglionnaires forment les nerfs optiques qui se croisent sur leur trajet pour former le chiasma optique. A ce niveau les fibres provenant des hémirétines nasales effectuent une décussation et s'associent aux fibres temporales ipsilatérales pour constituer la voie optique. Cette dernière se termine sur le corps genouillé latéral (CGL). Le CGL, situé dans la partie postéro-latérale du thalamus (métathalamus), est un noyau de relai constitué de six couches cellulaires distinctes dont la principale fonction est de rehausser les contrastes.

Chacune des couches reçoit ses afférences d'un seul oeil. Les cellules ganglionnaires provenant de l'hémirétine nasale contralatérale font synapses sur les couches 1, 4 et 6; alors que celles provenant de l'hémirétine temporale ipsilatérale établissent leur contact avec les couches 2, 3 et 5. De cette façon chaque couche contient une représentation de l'hémichamp visuel contralatéral. De plus les deux couches les plus ventrales du CGL (les couches 1 et 2) sont composées de cellules de

grandes dimensions et sont appelées les couches magnocellulaires, par opposition aux couches parvocellulaires (les couches 3, 4, 5 et 6). Enfin, les radiations optiques sont formées par les efférences du CGL qui se projettent sur la couche IV du cortex visuel primaire (aire 17).

Parallèlement à cette voie, un ensemble de fibres ganglionnaires se dirige vers le collicule supérieure. Les fibres sont ensuite projetées sur le prétectum, le pulvinar inférieur et le complexe des noyaux postérieurs (Graybiel et Nauta, 1971). A leur tour ces deux derniers sites projettent de façon parallèle sur les aires 17,18 et 19.

L'étude anatomique des voies visuelles montre donc l'existence de système afférent parallèle partant de la rétine pour atteindre les différentes zones du cerveau. Les deux plus anciens systèmes identifiés sont le système rétino-colliculaire responsable de l'orientation vers une cible d'intérêt et le système rétino-géniculé responsable de la perception visuelle. Outre ces deux systèmes, des observations anatomiques et physiologiques récentes effectuées chez le macaque ainsi que chez l'homme ont démontré la présence de voies visuelles parallèles à l'intérieur du système rétino-géniculé (Lennie, 1980; Shapley et Perry, 1986). Les spécificités fonctionnelles

des neurones qui composent ces deux voies parallèles (P et M) suggèrent qu'elles jouent, fort probablement, des rôles différents dans les mécanismes perceptuels.

Les systèmes P et M partagent toutefois un ensemble de propriétés de bases. Leurs champs récepteurs sont formés de deux zones concentriques dont 90% des cellules montrent une opposition centre-périphérie. Quelques cellules sont excitées par une illumination circonscrite de la rétine et inhibées par une illumination périphérique de cette même région rétinienne. Quelques autres montrent une activité inverse, et sont excitées par la périphérie et inhibées par le centre. Dans l'ensemble les réponses de ces cellules indiquent clairement qu'elles sont connectées de façon à convertir l'information provenant des photorécepteurs en information sur la discontinuité spatiale ou contraste présent dans l'environnement visuel.

Spécificités des voies P et M.

La voie M projette aux couches magnocellulaires du corps génouillé latéral et regroupe 10% des fibres ganglionnaires (Perry, Oehler et Cowey, 1984). Ces dernières possèdent de larges champs dendritiques rétinien et de larges corps

cellulaires. Physiologiquement, les neurones de cette voie sont sensibles au contraste de forte luminosité et répondent au stimulus de faible intensité. Ils possèdent aussi une excellente résolution temporelle (Kaplan et Shapley, 1982).

D'un autre côté, la voie P projette aux couches parvocellulaires du corps génouillé latéral et regroupe 80% des fibres ganglionnaires. Les cellules de cette voie possèdent de petits corps cellulaires, des champs dendritiques compacts et une distribution spatiale dense sur la rétine. Physiologiquement, les neurones de la voie P montrent des processus à opposition chromatique, une faible sensibilité et une résolution temporelle modérée (Kaplan et Shapley, 1982).

Enfin, le pourcentage des fibres provenant des cellules ganglionnaires et qui ne peuvent être classées dans l'une ou l'autre voie forment un contingent que l'on associe aux projections colliculaires.

La ségrégation de ces voies parallèles se perpétue au niveau du cortex visuel primaire. La voie M se projette sur la couche $IVC\alpha$ qui projette à son tour sur la couche IVB pour rejoindre ensuite l'aire 18 et l'aire visuelle temporelle moyenne (MT, chez le macaque). Pour sa part, la voie P projette sur la couche $IVC\beta$ et de là elle se connecte avec les couches 2 et 3.

Ces couches projettent sur l'aire 18. Hendrickson, Hunt et Wu (1981; voir Livingstone et Hubel, 1988) ont montré que la voie P se sépare pour former une subdivision additionnelle dans les couches supérieures du cortex visuel primaire. Cette subdivision a été nommée "Blob" à cause de sa forme tri-dimensionnelle. Les Blobs se retrouvent uniquement dans les couches supérieures du cortex visuel primaire et reçoivent des afférences à la fois des voies P et M. Pour résumer, les inter-blobs reçoivent leur afférence de la voie P, et les blobs reçoivent leur afférence des voies M et P et projettent, ensuite, tous les deux à l'aire 18 (Livingstone et Hubel, 1988).

Les propriétés anatomiques et physiologiques distinctes des voies P et M ainsi que leur ségrégation au niveau cortical suggèrent qu'il s'agit de deux systèmes parallèles et indépendants. La voie P serait spécialisée pour la perception de la forme et des couleurs, et la voie M serait plutôt responsable de la détection du mouvement ainsi que de la détection de stimuli de faible intensité. Dans les faits, plusieurs observations comportementales ont montré que ces canaux parallèles demeureraient séparés jusqu'à des niveaux élevés de traitement corticale. À partir des études post-lésionnelles Pohl (1973; voir Livingstone et Hubel, 1988) et Ungerleider et Mishkin (1982; voir Livingstone et Hubel, 1988) ont défini deux divisions

fonctionnellement distinctes au niveau des aires visuelles associatives. Ils ont trouvé que la région occipito-temporale était nécessaire pour l'identification des objets selon leur apparence, et que le carrefour pariéto-occipital était impliqué dans la localisation des objets dans l'espace (What vs Where). Ainsi selon Livingstone et Hubel (1988) les aires visuelles temporales pourraient représenter la continuation du système P, et les aires pariétales celle du système M.

Chromaticité des voies P et M.

Une cellule P typique peut par exemple recevoir une connection excitatrice du centre de son champ récepteur provenant d'un cône rouge et recevoir une connection inhibitrice de la périphérie du champ récepteur provenant d'un cône vert. Une telle cellule s'excite en présence de longues longueurs d'onde et s'inhibe aux courtes longueurs d'onde (vert et bleu). De plus, elle demeure silencieuse pour un ensemble de longueurs d'onde intermédiaires (jaune). Une foule d'autres possibilités existent aussi; le plus couramment les cônes rouges ont un antagoniste

vert et les cônes bleus ont un antagoniste qui correspond à la somme du rouge et du vert (jaune).

Contrairement aux cellules P, qui sont presque toutes sélectives à la couleur, les cellules M (et le 10% de cellules P) somment l'activation des trois types de cônes et sont sensibles à une étendue spectrale. Lorsque les cellules répondent à un changement d'illumination, la réponse est de même type quelque soit la longueur d'onde présente. Le système M est par conséquent considéré aveugle à la couleur; un peu comme une photo noir et blanc. En plus de la couleur, les deux voies diffèrent aussi sur la base de leur acuité, de leur vitesse de réponse et de leur sensibilité au contraste.

La sensibilité spectrale.

Les cônes et les bâtonnets, dénommés ainsi à en raison de leur morphologie, possèdent respectivement différentes caractéristiques. Les cônes par exemple correspondent à la vision photopique ou diurne alors que les bâtonnets sont plutôt impliqués dans la vision scotopique ou nocturne. Cette distinction entre les domaines photopique et scotopique

s'effectue sur la base de l'intensité lumineuse susceptible de stimuler la rétine. Il est, généralement, entendu que la vision est scotopique entre le seuil absolu $.0000032$ et $.0032$ (cd/m^2) et photopique au dessus de $.34$ (cd/m^2). Cet intervalle compris entre $.0032$ et $.34$ (cd/m^2) constitue le domaine mésopique à l'intérieur duquel se manifeste l'effet Purkinje. Pour le domaine photopique, pratiquement seuls les cônes participent à l'expérience visuelle. Trois types de cônes sont présents chez l'humain. Il s'agit des cônes rouges, vert et bleus selon que leur maximum de sensibilité correspond aux longues (560), moyennes (530) ou courtes longueurs d'onde du spectre. La sensibilité spectrale de ces photorécepteurs a été déterminée par Schnapf et al. (1987) qui montrent que chaque photorécepteur possède une sensibilité spectrale distincte avec toutefois un chevauchement important. Enfin la sensibilité spectrale du système visuel est le résultat de l'intégration de l'excitation provenant des trois types de cônes.

La sensibilité humaine le long du spectre visible sous des conditions d'éclairement diurne est décrite par la fonction de luminosité photopique ($V(\lambda)$) proposée par la C.I.E. Cette fonction illustre la sensibilité spectrale d'un observateur fictif

ou moyen dont les valeurs pour chaque longueur d'onde découlent de la moyenne des résultats obtenus avec plusieurs individus. Cette courbe de sensibilité spectrale moyenne est le résultat de l'excitation rétinienne que produit la lumière chez un individu. Il existe différents facteurs telle l'intensité, ainsi que la grosseur du stimulus qui peuvent influencer la fonction de sensibilité spectrale. Pour cette raison la commission internationale de l'éclairage (C.I.E.) a adopté une courbe standard de l'efficacité lumineuse pouvant servir de référence, cette courbe est issue d'une stimulation dont la grandeur correspond à 2 degrés d'angle visuel pour une projection fovéale ayant une intensité de 3.4 nits (appendice E). C'est à partir de cette fonction standardisée que nous tenterons de comparer les résultats de nos sujets pour les différentes conditions expérimentales.

Avant d'aller plus loin une mise au point s'impose. La perception des couleurs est un enchaînement de processus physiologiques dont le point de départ est habituellement une stimulation adéquate produite par l'excitation des photorécepteurs. Par conséquent, au niveau cortical, une série d'opérations se produisent successivement avant qu'une expérience colorée ne survienne. Ce traitement de l'information visuelle suit une séquence qui peut être modifiée ou perturbée

par l'apparition de lésions sélectives. A ce sujet Pallis (1955) a observé chez des sujets ayant subi une atteinte circonscrite de l'hémisphère droit postérieur, la disparition de l'expérience visuelle colorée. Puisque cette zone fait partie des aires associatives généralement responsables du traitement secondaire, il est fort probable que le traitement primaire de l'information colorée puisse être préservé. Ainsi ce traitement séquentiel au niveau cortical permet donc de croire que bien que l'identification des couleurs puisse être perturbée lors d'atteintes cérébrales, la sensibilité spectrale devrait tout de même s'observer puisqu'elle relève d'un traitement davantage primaire de l'information. Pour ces raisons il est primordial et jusqu'à preuve du contraire de ne pas confondre la sensibilité spectrale avec la perception des couleurs. La capacité d'extraction des caractéristiques d'un stimulus lumineux (sensation) n'est qu'une condition à l'expérience visuelle (perception). Ainsi la sensibilité spectrale doit être considérée plutôt comme une sensation visuelle; alors que la vision des couleurs constitue un phénomène perceptuel sophistiqué.

La vision des couleurs en champ périphérique.

Afin de latéraliser la présentation des stimuli ceux-ci doivent être projetés dans le champ visuel périphérique pour

éviter que l'information ne soit transmise aux deux hémisphères à la fois. Une attention toute particulière doit donc être apportée concernant la vision des couleurs en périphérie rétinienne. Un des phénomènes visuels les plus faciles à démontrer en psychophysique est la disparition de la teinte d'un stimulus chromatique (coloré) lorsque celui-ci est déplacé du point de fixation vers la périphérie du champ. Cette dégradation de la teinte au fur et à mesure du déplacement rétinien ne se produit pas à la même excentricité pour toutes les couleurs. Cette observation a conduit au développement du concept de zones de couleurs. Les zones de couleurs sont des aires circonscrites dans le champ visuel périmétrique, à l'intérieur desquelles la teinte d'un stimulus est perçue (Johnson 1986). Bien qu'il soit facile à démontrer ce phénomène fluctue énormément. Ainsi, plus de cent ans de recherches démontrent que la frontière de ces zones de couleurs changent selon les caractéristiques du stimulus observé (l'intensité, la grandeur ,la méthode) indiquant que celles-ci ne représentent pas un point final dans le traitement de l'information chromatique, mais plutôt une propriété du traitement chromatique périphérique.

Weale (1951) est certes un des premiers investigateurs à avoir tenté d'élucider les propriétés de la rétine périphérique. En utilisant la technique d'égalisation des brillances

hétérochromatiques, pour un oeil adapté à la lumière blanche afin d'éviter l'effet des bâtonnets, il remarque que la sensibilité spectrale relative aux courtes longueurs d'ondes augmente avec l'excentricité. Cette augmentation de la sensibilité spectrale aux courtes longueurs d'ondes conduit à la conclusion qu'il s'agit non seulement d'une influence de la pigmentation maculaire mais aussi d'une amélioration de la sensibilité des récepteurs en vision périphérique comparativement à la vision centrale. Toutefois en opposition avec les résultats de Weale (1953), Wooten, Fuld et Spillmann (1975) à l'aide de la technique du seuil discriminatif ascendant observent pour leur part que la sensibilité spectrale pour les courtes longueurs d'ondes décroît au fur et à mesure que l'excentricité augmente. De plus Wooten et al. (1975) montrent aussi la même tendance pour des fonctions de sensibilité spectrale issues de la période plateau comprise dans le mécanisme d'adaptation à l'obscurité. Ainsi dans un état d'adaptation chromatique neutre la fonction photopique de sensibilité spectrale semble avoir la même forme et ce à partir de la région parafovéale jusqu'à la périphérie éloignée.

Quelques années plus tard, Abramov et Gordon (1977) recueillent à nouveau des résultats en accord avec ceux obtenus par Weale (1953), en utilisant la méthode du vacillement pour

évaluer la sensibilité spectrale fovéale et périphérique de l'oeil adapté à l'obscurité pour des intensités photopiques. Ils trouvent une augmentation prononcée de la sensibilité aux courtes longueurs d'ondes en périphérie. Selon eux la différence entre leurs résultats et ceux de Wooten et al.(1975) pourrait correspondre à une différence dans la méthode employée, puisqu'il est bien démontré que la forme de la fonction de sensibilité spectrale dépend étroitement de la méthode psychophysique utilisée (Wagner et Boynton 1972; Comerford et Kaiser 1975).

Dans le but d'éclaircir ces observations parfois divergentes, Stabell et Stabell (1980) ont entrepris de vérifier la sensibilité spectrale à différentes intensités, pour une projection à 45 degrés d'excentricité temporelle pendant la période plateau, et en adaptation complète à l'obscurité. Les résultats recueillis suggèrent qu'une intrusion des bâtonnets plutôt qu'une différence dans les méthodes employées pourrait expliquer l'incompatibilité des observations faites par Abramov et Gordon (1977) ainsi que par Wooten et al. (1975). Pour résumer, les résultats de Stabell et Stabell (1980), recueillis pendant la période plateau où l'activité des bâtonnets est absente de la vision périphérique colorée (Stabell et Stabell 1976), montrent une sensibilité spectrale de forme photopique

(pratiquement similaire à la fonction de luminosité obtenue en vision centrale avec la technique du vacillement) et ce indépendamment de la méthode ou de l'intensité utilisée. Par contre en état d'adaptation à l'obscurité la sensibilité spectrale est de forme scotopique. Il semble donc qu'à 45 degrés, pour une rétine adaptée à l'obscurité, les bâtonnets puissent complètement dominer la fonction de sensibilité spectrale pour des intensités habituellement reconnues comme étant photopiques.

Ces différentes observations concernant l'évaluation de la fonction de sensibilité spectrale photopique mettent en garde concernant entre autre la méthode utilisée ainsi que les différents paramètres tel la grandeur du stimulus, la localisation rétinienne, la durée, ainsi que l'état d'adaptation de la rétine. Pour ces raisons, il importe d'établir nos propres normes afin de comparer la courbe d'efficacité lumineuse obtenue en vision centrale avec celles obtenues en vision périphérique pour les différentes conditions expérimentales que nous voulons examiner, tout en gardant en tête l'ensemble des mises en garde découlant des études précédentes.

Sur la base des observations de Kimura et Durnford (1974) et de Davidoff (1976, 1977) indiquant une asymétrie

perceptuelle favorisant l'hémisphère droit pour des tâches visuelles de base, ainsi que sur celles découlant des travaux de Marzi, Antonucci et Pizzamiglio (1982) et Chelazzi et al. (1988) laissant croire à une supériorité fonctionnelle de l'hémirétine nasale sur l'hémirétine temporale, il est possible de formuler les hypothèses suivantes:

1: L'hémisphère droit devrait traiter l'information colorée de façon supérieure à celle observée pour l'hémisphère gauche puisqu'il s'agit d'un phénomène perceptuel souvent perturbé par une lésion de l'hémisphère droit.

2: L'hémirétine nasale devrait montrer une plus grande sensibilité se traduisant par une augmentation des points d'égalités subjectifs (comparativement à l'hémirétine temporale).

Chapitre II

Description de l'expérience.

Sujets: Les sujets sollicités pour effectuer l'expérience sont des étudiants faisant partie du département de psychologie et possédant une vision des couleurs intacte telle que vérifiée à l'aide du "Dvorine color plates" (voir l'appendice A.). Parmi les candidats rencontrés quatre ont été retenus; une femme, trois hommes. L'âge moyen de ce groupe est de 25 ans.

Appareils. Le montage utilisé ici est une adaptation de celui de Leporé et al. (1975). En tout premier lieu le dispositif qui produit les stimulations est composé d'un générateur d'illumination pour fibre optique dont la qualité spectrale est similaire à celle produite par une lampe à filament de tungstène. La source est divisée en deux à l'aide d'une fibre optique bifurcante; cette opération est nécessaire afin de s'assurer que les deux stimulations auxquelles les sujets devront répondre soient identiques au niveau énergétique. A chaque extrémité de la fibre optique bifurcante un caisson à glissière est fixé pour permettre la manipulation des différents filtres qui génèrent les stimulations. La projection des stimuli s'effectue sur un verre opal dépoli ce qui donne une stimulation pratiquement de type Lambertienne, c'est-à-dire uniforme sur toute la plage stimuli.

Les stimulations sont projetées sur un panneau devant lequel les sujets prennent place. Ceux-ci sont isolés à l'intérieur d'une

chambre noire. Lorsque assis dans la chambre les sujets doivent demeurer appuyés sur une mentonnière et un appui front tout en fixant droit devant eux un chiffre (point de fixation); ce chiffre, lorsque la présentation, est centrale se trouve à départager les deux stimulations. Celles-ci étant de part et d'autre du point de fixation sur le plan vertical. Sur le plan horizontal à trois degrés d'excentricités d'un côté comme de l'autre sont disposées deux diodes lumineuses. Ces diodes servent pour la période de calibration par la suite elles demeurent éteintes. Il est à noter que les sujets doivent constamment garder apposé leur menton sur la mentonnière afin de conserver une fixation stable. La figure 2 illustre le dispositif de stimulation. Seul le panneau, devant lequel les sujets sont assis, est représenté puisqu'il résume clairement l'essentiel entourant la présentation des stimulations.

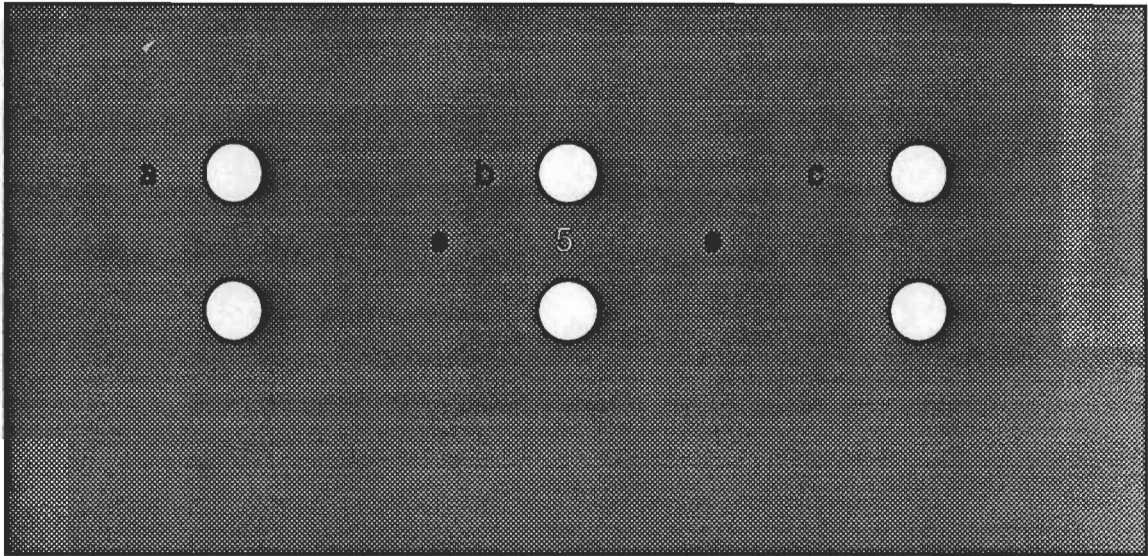


Fig. 2 - Illustration du montage expérimental.

- a) Stimulation en champ visuel gauche (hémisphère droit).
- b) Stimulation binoculaire en vision centrale.
- c) Stimulation en champ visuel droit (hémisphère gauche).

NB: Le chiffre 5 représente le point de fixation, alors que les deux points de part et d'autre indique l'emplacement des diodes nécessaires à la calibration.

Lors des stimulations périphériques les sujets portent des électrodes de surface de type médi-trace destinées à recueillir l'activité des muscles droits externes à l'aide d'un amplificateur DC Grass qui par la suite transmet son information à un micro-

ordinateur Apple II possédant une mémoire active de 128 K. L'ordinateur détermine si les conditions requises pour déclencher les stimulations sont présentes avant d'effectuer une présentation. Ainsi l'ordinateur surveille les mouvements oculaires afin que la stimulation puisse être perçue dans la partie périphérique du champ visuel. La programmation informatique permet une analyse échantillonnale de la position relative des yeux en concomitance avec la présentation des stimuli. De cette façon si le sujet déplace son regard une fois la stimulation déclenchée ou même pendant qu'elle se déroule, l'expérimentateur est immédiatement informé; alors l'essai est tout simplement rejeté. L'initiation de la stimulation s'effectue à l'aide d'une clef télégraphique connectée avec l'ordinateur qui ordonne l'apparition des stimuli. Advenant le rejet d'un essai, celui-ci s'ajoute à la fin de la série en cours.

Comme contrôle habituellement utilisé lors d'épreuves répétitives la présentation des stimuli suit un ordre de hasard prédéterminé. Cette nomenclature plutôt paradoxale correspond en réalité à un ordre de hasard qui est conservé pour tous les blocs servant à déterminer le point d'égalité subjectif des sujets pour chacune des longueurs d'onde utilisées. Cet ordre est généré par l'ordinateur qui a été programmé pour que chacune des conditions soit présente un nombre (30 répétitions) équivalent de fois.

Le panneau stimulus possède deux fenêtres desquelles parviennent les stimuli. Devant chacune d'elles sont placés les filtres qui détermineront les caractéristiques spécifiques de chacun des stimuli. Les filtres utilisés sont fabriqués par la compagnie Eastman Kodak et sont couramment employés en photographie. Les filtres possèdent deux grandes caractéristiques, la première est leur pourcentage de transmission lumineuse alors que la seconde caractéristique est leur caractère dit achromatique ou chromatique. Ainsi l'expérimentateur dispose de deux ensembles de filtres: les filtres colorés et les filtres neutres.

Les filtres colorés sont des filtres Wratten monochromatiques et portent les numéros suivants: 47B, 44, 40, 74, 99, 72B, 29 et 70. Leurs longueurs d'onde maximales respectives sont de 452,7; 495; 516,2; 538,6; 554,6; 605,7; 632,7; 678 nanomètres. Les filtres sont montés entre deux plaques de verre de 1mm d'épaisseur; cette procédure a pour but de faciliter la manipulation et de protéger les filtres en tant que tel.

Les filtres neutres sont aussi de marque Kodak de la série ND 96 et portent les numéros .10, .20, .30, .40, .50, .60, .70, .80, 90, 1.00, 2.00, 3.00. Le numéro ici correspond au pourcentage de transmission exprimé en logarithme: Par exemple .30 signifie

l'expression logarithmique 10^{-30} donc un pourcentage de transmission de 20%.

Enfin le photomètre utilisé pour mesurer la luminance des stimuli est un appareil de marque "International light model 1L 710A RESEARCH PHOTOMETER". Cet appareil permet de connaître l'énergie lumineuse directement en foot-lambert (ft-L) provenant de chacun des filtres. Conformément à la convention internationale une conversion en unité métrique est effectuée. Ainsi une valeur égalant .2919 (ft-L) correspond en unité internationale à 1 candela par mètre carré (cd/m^2).

Procédure.

Le sujet prend place à l'intérieur d'une boîte particulièrement étanche à toutes infiltrations lumineuses autres que celles produites par les deux plages stimuli, celles-ci soustendent un angle visuel de deux degrés. Auparavant l'expérimentateur a effectué la pose des électrodes et vérifié leur impédance à l'aide d'un appareil (impédancemètre). Les fils qui relient les électrodes à l'amplificateur quittent la chambre noire par trois orifices juste au dessus de la tête du sujet. Une fois bien assis le sujet appuie son menton sur la mentonnière et l'expérimentateur lui demande alors de fixer un point de fixation, en ce qui nous concerne il s'agit d'un chiffre qui varie pour chaque essai. L'ordinateur note la

position des yeux. Par la suite, la procédure se répète cette fois-ci, le sujet doit regarder à droite puis à gauche à l'emplacement indiqué par deux petites diodes. Il s'agit de l'espace à l'intérieur duquel le sujet sera contraint de maintenir son regard afin que la stimulation présentée soit retenue comme valable par l'ordinateur. L'excentricité permise correspond à un angle visuelle d'environ 3 à 4 degrés. La présentation s'effectuant à 10 degrés, ceci laisse au sujet une certaine latitude de mouvement qui peut être qualifiée de confortable.

En ce qui a trait à la calibration celle-ci n'est nécessaire que lorsque la stimulation doit se trouver dans le champ périphérique du sujet. Ainsi lors des stimulations en champ central, c'est-à-dire en zone fovéale, l'étape de calibration n'est pas nécessaire. De ce fait l'expérimentateur redonne toute liberté au sujet de bouger la tête.

Une fois la calibration effectuée l'expérimentateur débute la session. La production des stimulations s'effectue à l'aide des filtres ainsi par exemple pour une longueur d'onde donnée, soit 452,7 nm filtre 47B l'expérimentateur mesure à l'aide du photomètre l'énergie lumineuse parvenant du filtre. Cette énergie est le standard avec lequel le sujet doit comparer les stimulations achromatiques afin de déterminer le seuil perceptuel différentiel.

Pour une énergie X l'expérimentateur sélectionne six filtres achromatiques qu'il distribue de part et d'autre de cette valeur attendue. Le troisième filtre de la série sélectionné correspond toujours à la valeur attendue. Ainsi la sensibilité spectrale relative bien que rarement identique à la valeur attendue se trouve souvent très près de celle-ci.

Par la suite le sujet est alors instruit de la consigne, celle-ci se lit comme suit: Je vais te présenter deux stimuli dont l'un sera coloré et l'autre incolore; je te demande de me dire si tu ne fais que considérer la luminosité, lequel des deux cercles te paraît le plus lumineux. Je veux donc que tu me dises lequel est le plus lumineux. Afin de vérifier la compréhension du sujet l'expérimentateur effectue quelques présentations. Cette consigne introduit par ailleurs le paradigme de choix forcés; c'est-à-dire qu'en aucun moment le sujet ne peut répondre que les deux plages stimuli lui paraissent équivalentes ou identiques; il doit absolument choisir entre la stimulation du haut ou du bas. L'expérimentateur varie donc les conditions pour qu'un nombre équivalent de réponses se retrouvent de part et d'autre du point d'égalité subjectif du sujet. Ce dernier est défini comme étant l'endroit où le sujet performe à un niveau de hasard. Le photomètre permet d'approximer la valeur du point d'égalité subjectif du sujet avant même le début des présentations, cette valeur est dite la

valeur attendue. L'expérimentateur sélectionne un ensemble de filtres neutres afin de distribuer un nombre de conditions égales de part et d'autre du seuil attendu. La méthode utilisée est celle des stimuli constants. Elle est généralement considérée comme étant la plus exacte et aussi la plus largement applicable de toutes les méthodes psychophysiques. Elle est souvent employée pour déterminer la mesure des seuils perceptuels.

En bref la méthode procède ainsi: Après quelques essais préliminaires l'expérimentateur sélectionne un nombre de stimuli, habituellement 4 à 7, qui sont présentés à l'observateur environ 50 à 200 fois (en ce qui nous concerne il s'agit de 6 stimuli et de 180 présentations) dans un ordre préarrangé inconnu de l'observateur. L'ordinateur vérifie pour que chacun des six stimuli soient répétés 30 fois, c'est-à-dire 180 présentations, afin d'obtenir une fonction psychométrique. Les 180 présentations sont distribuées de part et d'autre de la valeur attendue. Trente présentations étant égales à celle-ci, alors que soixante sont moins lumineuses et quatre vingt dix sont plus lumineuses. Pour la détermination du seuil perceptuel, l'exposition a une durée de 2 secondes et chaque stimulus est présenté simultanément avec un standard. L'observateur doit répondre à savoir lequel des deux stimuli lui paraît le plus lumineux (haut ou bas); lorsque apparemment identique l'observateur doit choisir l'une ou l'autre alternative

(choix forcé). Cette procédure est connue sous le nom de méthode des stimuli constants différentiels.

Chacune des cinq conditions de visionnement sont mesurées une à la suite de l'autre. Chaque sujet débute d'abord avec une présentation binoculaire en vision centrale, lors de laquelle toutes les longueurs d'onde sont utilisées successivement. Par la suite les présentations monoculaires sont effectuées pour chacun des champs visuels. Par exemple, l'hémirétine nasale de l'oeil droit est mesurée pour chaque longueur d'onde, avant de passer à la stimulation d'une autre hémirétine. Ainsi pour recueillir l'ensemble des données pour un sujet il faut compter entre 20 et 30 heures d'expérimentation, chacune des séances ayant une durée variable correspondant à l'état et à la volonté du sujet de poursuivre. Toutefois entre chaque longueur d'onde le sujet peut se voir accorder une période de repos. La détermination du seuil perceptuel pour une longueur d'onde prend habituellement entre 30 et 45 minutes.

Une fois la cueillette des données effectuée, l'extrapolation du seuil s'effectue graphiquement. C'est-à-dire que les réponses sont étalées graphiquement selon leur pourcentage d'apparition, à ce moment le seuil perceptuel correspond à l'endroit où les deux jugements croisent la proportion .50; c'est l'endroit où les

observateurs répondent de façon aléatoire. En ordonnée sont étalées les proportions alors qu'en abscisse on retrouve la valeur des stimuli utilisés. Le rabattement du point de croisement sur l'abscisse détermine le point d'égalité subjectif du sujet (P.E.S.).

Chapitre III

Analyse des résultats et discussion.

Avant de débiter la présentation des résultats, il importe de rappeler la façon dont ils sont recueillis. Comme il fut mentionné au chapitre précédent, l'utilisation de la méthode des stimuli constants permet à l'aide de divers échantillons de déterminer le seuil perceptuel du sujet. Le seuil perceptuel correspond au point d'égalité subjectif du sujet pour une stimulation précise. Ce dernier s'obtient par la comparaison simultanée de la plage étalon avec les diverses plages proposées. Les sujets doivent répondre à savoir laquelle parmi les deux stimulations leur paraît la plus lumineuse. Comme celles-ci sont disposées l'une au dessus de l'autre les sujets répondent "haut" ou "bas" selon que la stimulation la plus lumineuse se trouve en haut ou en bas.

Par la suite, l'extrapolation du P.E.S. s'effectue graphiquement et correspond au rabattement du croisement des courbes de proportion associées au type de réponse (Haut ou Bas) sur l'abscisse. Celle-ci indique le numéro des filtres achromatiques qui furent utilisés afin de déterminer le P.E.S. Ce dernier peut se définir comme étant la valeur où le sujet obtient un jugement équivalent à 50% de bonnes réponses. Cette valeur

est ensuite transformée en terme photométrique soit en candela par mètre carré (voir fig. 4).

Une fois cette dernière transformation effectuée il suffit de multiplier par la valeur correspondant à la longueur d'onde sélectionnée sur la courbe théorique, proposée par la commission internationale de l'éclairage, afin d'obtenir la sensibilité spectrale relative du sujet pour cette longueur d'onde précise. L'exemple suivant illustre à l'aide de la figure 3 la méthode de calcul des résultats. Le filtre 74 est sélectionné chez le sujet 4 pour une stimulation de l'hémirétine temporale droite.

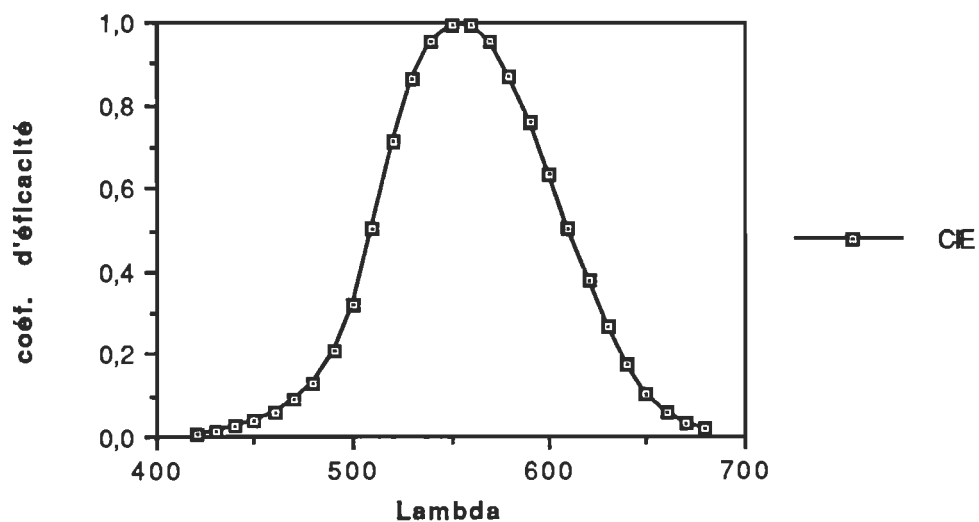


Fig. 3 - Méthode du rabattement de la valeur théorique
Ex. du filtre 74 longueur d'onde 538,5.

La longueur d'onde du filtre 74 est de 538,6 nanomètres, le P.E.S. du sujet 4 observé pour cette longueur d'onde en stimulation temporelle droite est de .54 en filtres neutres soit 33.3 (cd/m²) alors que la valeur au photomètre correspond à 4 (cd/m²). Le rapport P.E.S. sur Phot. est donc de 8.3 (cd/m²). L'équivalent théorique de cette longueur d'onde est de .94, et correspond à la fonction $V(\lambda)$ de la commission internationale de l'éclairage (C.I.E.). Ainsi le produit de 8.3 (cd/m²) par .94 donne la sensibilité spectrale relative du sujet pour cette stimulation, soit 7.809 (cd/m²). Enfin ce nombre est transformé en valeur logarithmique afin de correspondre aux normes d'illustration employées maintenant en photométrie. De plus cette manipulation facilite la représentation graphique des résultats. La figure 4 montre la façon d'obtenir le P.E.S. des sujets. En abscisse est étalée la valeur des filtres neutres, alors qu'en ordonnée se trouve le pourcentage de réponse pour chaque alternative.

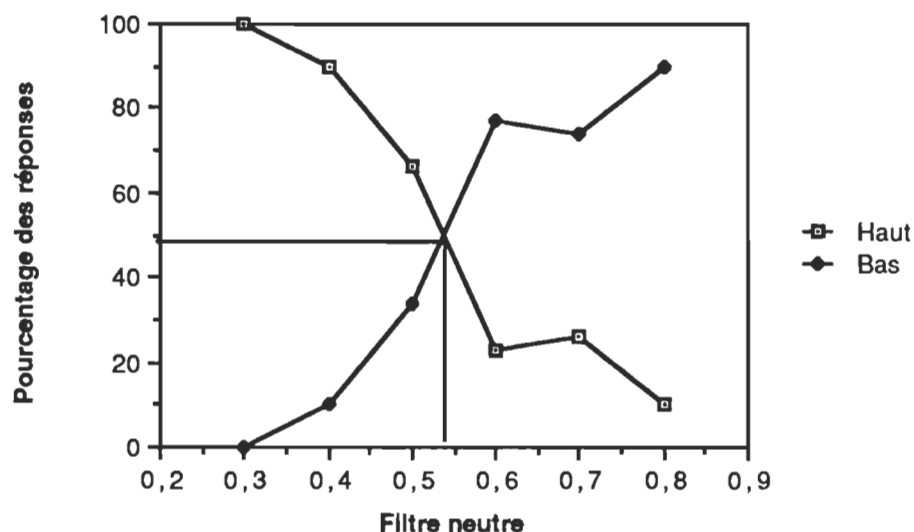


Fig. 4 - Méthode d'extrapolation du P.E.S.

En abscisse: valeur des filtres neutres.

En ordonnée: Nombre de réponses en %.

Cette procédure est répétée pour tous les filtres chromatiques pour chaque sujet et dans chaque condition de présentation dans le but de tracer les courbes de sensibilité spectrales. Les tableaux nécessaires à l'analyse sont rapportés à l'appendice B; ceux-ci montrent successivement les P.E.S., les rapports P.E.S./Phot. et finalement la sensibilité spectrale des sujets ajustée à la fonction $V(\lambda)$ de la C.I.E. Il faut noter que les valeurs rapportées dans les tableaux ne comportent aucune transformation, seul les graphiques sont représentés de façon logarithmique.

Résultats

L'analyse des résultats comprend deux grandes sections. La première analyse vise à étudier les différences qui pourraient exister entre les deux hémisphères pour le traitement de la sensibilité spectrale. La seconde a pour but de vérifier s'il existe une différence significative entre les hémirétines, nasale et temporale, concernant l'extraction des caractéristiques spectrales d'un stimulus.

Sensibilité spectrale en vision centrale (vision binoculaire).

La superposition graphique des courbes de sensibilité spectrale de chacun des sujets en vision centrale, telles qu'illustrées par la figure 5, montre qu'elles se confondent bien avec la courbe $V(\lambda)$ proposée par la C.I.E. Par contre une variabilité inter-sujets est observée surtout en ce qui concerne les courtes longueurs d'onde du spectre. En effet, dans la région du bleu (452,7), deux des sujets montrent une sensibilité accrue par rapport à la C.I.E. et aux deux autres sujets expérimentaux. Cette variabilité est probablement due au petit nombre de sujets composant l'échantillon comparativement à la C.I.E. qui a tracé sa courbe standard sur un millier d'observateurs. Il n'en demeure pas moins que la superposition des courbes

obtenues avec notre méthode et celle de la C.I.E. laisse supposer que la fiabilité de la méthode employée permet d'examiner avec plus de précision la contribution relative des deux hémisphères cérébraux dans le traitement de l'information spectrale.

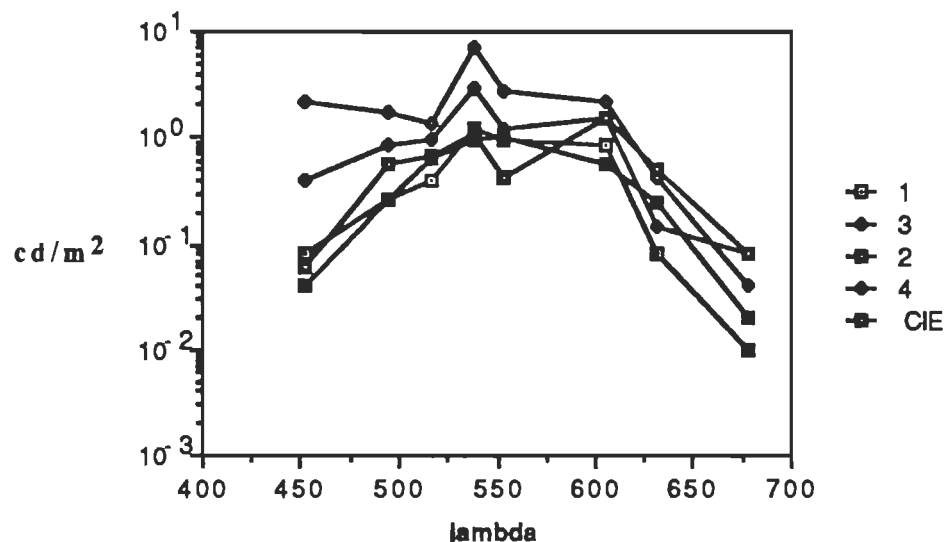


Fig. - 5 Courbes de sensibilité spectrale
en vision centrale

Asymétrie hémisphérique (vision monoculaire)

Afin de voir s'il y a des différences perceptuelles entre les deux hémisphères une analyse de variance à mesures répétées selon un plan factoriel (2 x 4 x 8) comprenant trois mesures indépendantes a été effectuée. La première variable

indépendante correspond aux champs visuels droit et gauche. La seconde variable indépendante correspond aux conditions de présentation visant l'excitation des hémirétines nasale et temporale de chaque oeil. La troisième variable indépendante correspond aux 8 longueurs d'onde utilisées. La procédure effectue donc premièrement, le jumelage de l'hémirétine nasale de l'oeil droit avec l'hémirétine temporale de l'oeil gauche afin de conduire à la réunification du champ visuel droit qui correspond à l'hémisphère gauche. Et deuxièmement elle effectue le jumelage de l'hémirétine nasale de l'oeil gauche à l'hémirétine temporale de l'oeil droit pour constituer le champ visuel gauche (hémisphère droit).

L'analyse statistique effectuée sur ces regroupements indique une différence significative entre les deux champs visuels correspondant aux hémisphères gauche et droit ($F(1, 3) = 21.131, p < .05$). Le tableau 1 montre les moyennes correspondant aux conditions de stimulations regroupées pour chacune des longueurs d'onde.

Tableau 1
comparaison de la sensibilité spectrale
moyenne des deux hémisphères droit et gauche.
aux différentes longueurs d'onde

longueurs d'onde	HG		HD	
	nasale	temporale	nasale	temporale
452,7	2.3325	1.5525	2.6200	1.3500
495	1.0400	1.5250	1.2775	1.5975
516,2	1.2050	1.1825	.9750	1.0850
538,2	3.4575	3.3600	4.5300	5.8800
554,6	1.6000	1.4200	2.2350	3.5675
605,7	1.2600	1.3950	1.8050	1.9250
632,7	.5600	.3600	.5200	.5050
678	.0435	.0092	.0990	.0310
moy. nasale	1.5975	temporale	1.6716	
moy. de l'HG	1.3939	HD	1.8752 *	

HG: hémisphère gauche

HD: hémisphère droit * $p < .05$

Nasale: moyenne des hémirétines nasale gauche ou nasale droite

Temporale: moyenne des hémirétines temporale gauche ou
temporale droite

L'analyse de variance (appendice C) indique que l'hémisphère droit est significativement supérieur à l'hémisphère gauche pour le traitement de la sensibilité spectrale.

La figure 6 montre que la courbe moyenne de sensibilité spectrale obtenue pour l'hémisphère droit est supérieure à celle observée pour l'hémisphère gauche. De plus la comparaison a posteriori des moyennes de chacune des longueurs d'onde effectuée avec le test de Duncan¹ pour un intervalle de confiance de .05 indique que la signification statistique obtenue précédemment est surtout due aux longueurs d'onde 538,6 et 554,6, où l'hémisphère droit est supérieur au gauche. La figure 6 montre aussi une supériorité de l'hémisphère droit pour la longueur d'onde 678. Pour cette condition l'hémisphère droit est 2.5 fois supérieur à son homologue gauche, alors que cette supériorité n'est que de 1.5 à la longueur d'onde 538,2. Paradoxalement la supériorité de l'hémisphère droit pour cette condition n'est pas statistiquement significative. Les résultats suggèrent, ainsi une supériorité hémisphérique droite qui ne se manifeste de façon significative que pour la région centrale du spectre visible.

¹ Duncan's new multiple range test (voir Kirk, 1982)

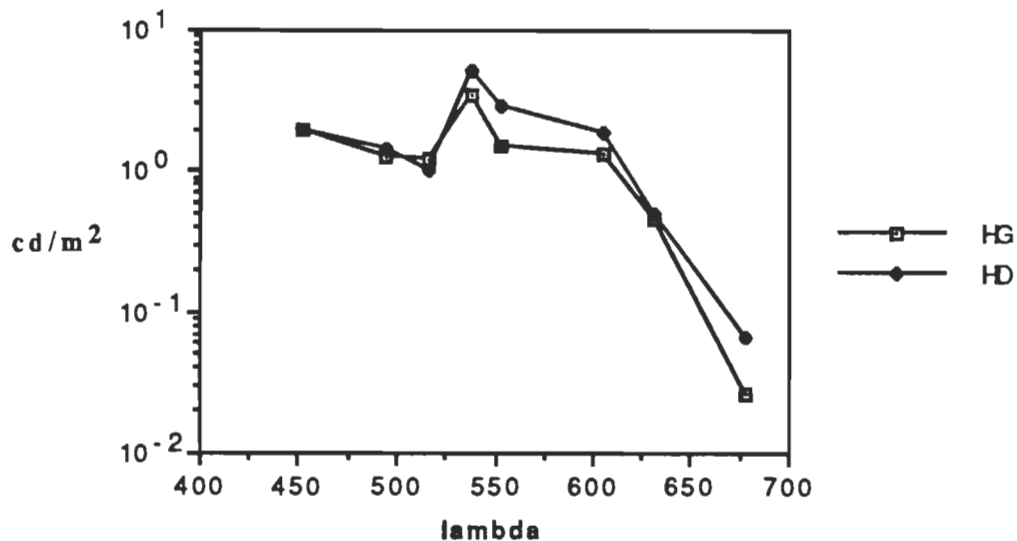


Fig. 6 - Courbes moyennes de sensibilité spectrale pour les deux hémisphères

Par ailleurs, la figure 7 suggère que la comparaison des moyennes obtenues lors de la stimulation de l'hémirétine temporale droite et de l'hémirétine nasale gauche ainsi que celles de l'hémirétine nasale droite et de l'hémirétine temporale gauche indiquées au tableau 1 ne présente aucune différence significative ($F(1, 3) = .049, p > .05$). Le sommaire de l'analyse de variance est rapporté à l'appendice C. Ceci laisse supposer que les hémirétines traitent l'information spectrale de façon identique pour un même champ visuel.

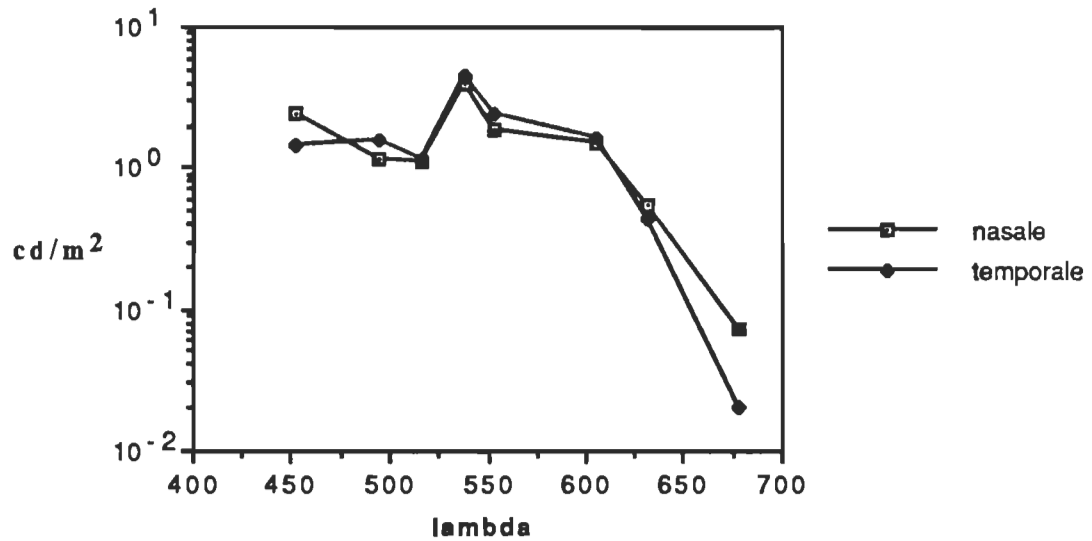


Fig. 7 - Courbes moyennes de sensibilité spectrale des hémirétines nasale et temporale

Asymétrie hémirétinienne (vision monoculaire).

Une seconde analyse de variance à mesures répétées fut effectuée sur les moyennes des hémirétines temporales et nasales. La moyenne des hémirétines nasales est issue de l'addition des résultats obtenus pour la stimulation de l'hémirétine nasale gauche et de l'hémirétine nasale droite. De la même façon l'addition des résultats de l'hémirétine temporale gauche à ceux de l'hémirétine temporale droite constitue la

moyenne des hémirétines temporales. Une modification est apportée au plan statistique afin de permettre cette analyse, celui-ci devenant un plan factoriel (3x8). Ce schème statistique comprend deux variables indépendantes. La première variable indépendante correspond aux trois types de présentation, soit centrale, nasale et temporale. La deuxième variable indépendante correspond aux 8 longueurs d'onde utilisées. L'analyse de variance effectuée sur ces résultats ne révèle aucune différence significative ($F(1, 3) = 3.139, p > .05$) entourant les différentes conditions de présentation. Les résultats sont rapportés à la figure 8 et suggèrent que pour ce type de tâche il n'existe aucune différence concernant une stimulation périphérique nasale et/ou temporale et une stimulation en vision centrale.

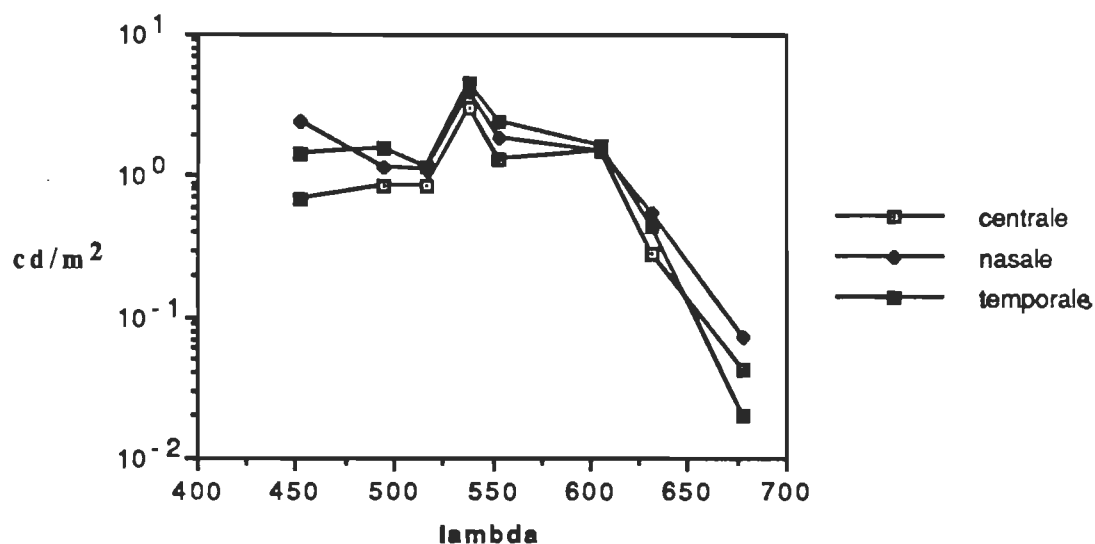


Fig. 8 - Courbes moyennes de sensibilité spectrale en vision centrale et périphérique

Sensibilité spectrale aux courtes longueurs d'onde

L'examen des différentes courbes de sensibilité spectrale révèle une sensibilité accrue aux courtes longueurs d'onde. Cette plus grande sensibilité aux courtes longueurs d'onde pour les conditions de stimulations périphériques est mise en évidence par les comparaisons a posteriori réalisées à l'aide du test de Duncan. Celle-ci indique que les moyennes des longueurs d'onde 678 ($X=0.457$) et 452,7 ($X=1.9637$) ainsi que celles de 632,7 ($X=.4862$) et 452,7 ($X=1.9637$) diffèrent significativement pour un intervalle de confiance de .05. Puisque la fonction $V(\lambda)$ est

relativement symétrique la valeur attendue concernant la longueur d'onde 452,7 devrait être comparable à celles obtenues pour les longueurs d'onde 678 et 632,7. En résumé ces différences significatives suggèrent une augmentation de la sensibilité spectrale inattendue pour les courtes longueurs d'onde formant le spectre visible.

En conclusion, nos résultats confirment la première hypothèse à savoir que l'hémisphère droit est supérieur à l'hémisphère gauche pour le traitement de la sensibilité spectrale. Ils invalident, par contre, la seconde hypothèse selon laquelle les hémirétines nasale et temporale sont différentes pour l'extraction des caractéristiques visuelles. Cette différence favorisant l'hémirétine nasale

Discussion et interprétation des résultats.

Dans le but de faciliter la discussion les résultats seront abordés successivement selon les hypothèses mentionnées précédemment. Les résultats indiquent compte tenu des paramètres utilisés qu'il est possible d'identifier une asymétrie perceptuelle pour le traitement de la sensibilité spectrale

favorisant l'hémisphère droit. Cette asymétrie perceptuelle se traduit par une plus grande sensibilité de l'hémisphère droit par rapport au gauche lorsque deux plages lumineuses doivent être égalisées pour leurs brillances respectives.

A notre connaissance, il existe une seule autre étude ayant examiné l'existence d'une asymétrie hémisphérique pour le traitement de la sensibilité spectrale. Ainsi à l'aide d'une procédure pratiquement identique St-Arnaud (1987) a conclu sur la base des comparaisons qu'il a effectuées entre les champs perceptuels gauche et droit qu'il n'existait probablement aucune différence entre les deux hémisphères cérébraux pour ce type de traitement. Cependant l'examen minutieux des résultats ainsi que la comparaison des méthodologies révèlent que trois facteurs, soit l'utilisation d'une stimulation binoculaire, la nature du point de fixation et l'intensité lumineuse, pourraient expliquer la divergence des résultats observée entre les deux études.

a) stimulation binoculaire.

Concernant la stimulation binoculaire, l'absence de différence significative dans nos observations entre l'hémirétine nasale et temporale d'un même champ perceptuel suggère que la réunification des champs perceptuels devrait produire le même

effet qu'une stimulation binoculaire (voir figure 8). Pour cette raison, contrairement aux études qui proposent une supériorité de l'hémirétine nasale pour la détection d'un point lumineux présenté à différentes excentricités (Chelazzi et al. 1988), il semblerait lorsqu'il s'agit de l'extraction des caractéristiques spectrales d'un stimulus qu'une stimulation monoculaire soit équivalente à une stimulation binoculaire.

L'absence d'un effet significatif entourant cette différence méthodologique permet de réconcilier l'équivalence fonctionnelle des deux hémirétines pour ce type de tâche sans toutefois offrir de base à l'émergence d'une spécialisation hémisphérique droite.

b) point de fixation.

L'utilisation d'un chiffre comme point de fixation contrairement à un point lumineux dans la procédure décrite par St-Arnaud (1987) afin de s'assurer de la fixation des sujets pourrait favoriser l'implication de l'hémisphère droit. Moscovitch et Klein (1980) ont montré à ce sujet que lorsque l'hémisphère gauche est impliqué dans un traitement cognitif, comme celui de nommer un chiffre, l'hémisphère droit peut se voir attribuer un avantage relatif pour d'autre type de traitement concomitant. Dans ce sens l'avantage relatif de l'hémisphère droit produit par le fait de nommer un chiffre pourrait sous-

tendre l'émergence de l'asymétrie perceptuelle observée dans cette étude.

c) intensité des stimuli.

L'intensité de la stimulation offre un argument de choix pour l'établissement de différences hémisphériques comme le propose Sergent(1982b). Suite aux observations qu'elle a recueillies Sergent (1982a) a proposé que l'hémisphère droit et le gauche ne requierait pas le même niveau d'énergie pour s'engager efficacement dans un traitement cognitif. La supériorité répétée de l'hémisphère droit pour de très brèves présentations semblerait indiquer que l'hémisphère droit nécessite un niveau moindre d'énergie que l'hémisphère gauche pour effectuer son traitement (Sergent 1982b). La stimulation que nous avons utilisé est 10 à 20 fois moins intense que celle de St-Arnaud (1987) soit 5 à 10 (cd/m²) contre 100 (cd/m²). Pour cette raison, il est fort probable comme le suggère Sergent (1982b) que la tâche ait activé préférentiellement l'hémisphère droit et ainsi produit une plus grande sensibilité du champ perceptuel gauche pour l'extraction et le traitement de la sensibilité spectrale. Un ordre hiérarchique selon lequel plus l'énergie augmente, plus les systèmes responsables de l'extraction et du traitement de l'information visuelle deviennent

fonctionnellement symétrique est ici envisageable. Ainsi pour une stimulation suffisamment large les deux hémirétines posséderaient assez d'énergie pour effectuer correctement leur traitement (Sergent 1983). Dans ce sens la grandeur du stimuli (2 degrés) ainsi que la durée (1 seconde) de la stimulation utilisée expliqueraient la symétrie fonctionnelle des deux hémirétines nasale et temporale d'un même champ perceptuel. Par contre à un niveau cortical secondaire cette énergie serait insuffisante et entraînerait la manifestation d'une supériorité hémisphérique droite. L'observation de l'émergence d'une asymétrie perceptuelle lorsque les systèmes sont poussés à leur limites renforcerait cette idée. Ainsi pour des conditions de stimulations adéquates ou normales la symétrie perceptuelle s'observerait.

Enfin, contrairement à ce que nous avons observé dans notre étude, l'absence d'asymétrie perceptuelle favorisant l'un ou l'autre des deux hémisphères chez St-Arnaud (1987) serait probablement tributaire du fait que pour une intensité élevée les deux hémisphères possèdent suffisamment d'information pour s'engager tous deux efficacement dans l'exécution de la tâche. Bien que la nature du point de fixation soit importante, comme le suggère Moscovitch et Klein (1980), il semblerait que ce soit la luminance de la stimulation qui exerce la plus grande influence

dans l'émergence d'une supériorité de l'hémisphère droit pour le traitement de la sensibilité spectrale.

La sensibilité accrue de l'hémisphère droit observée dans nos résultats est toutefois appuyée par les observations de Davidoff (1976,1977). A cet effet Davidoff (1976) remarque que les stimulations colorées sont vues plus brillantes lorsqu'elles sont présentées dans le champ visuel gauche (hémisphère droit) comparativement au champ visuel droit. Ces données peuvent être mises en parallèle avec celles que nous avons obtenues. La méthode photométrique utilisée ici, est basée sur le jugement de la luminance ou brillance de la stimulation et implique une comparaison de deux stimulations afin de déterminer laquelle est la plus lumineuse. De plus, Davidoff (1977) a aussi montré, à l'aide de la technique tachistoscopique, une supériorité de l'hémisphère droit par rapport au gauche pour la discrimination de la teinte d'un stimulus. Il est remarquable de noter que les deux paramètres examinés par Davidoff (1976, 1977) pour lesquels il a soulevé un avantage hémisphérique droit font parties intégrantes de la tâche à laquelle nous avons soumis nos sujets. En effet l'utilisation de la méthode d'égalisation des brillances hétérochromatiques pour l'évaluation de la sensibilité spectrale met en jeu à la fois la teinte et la brillance des

stimuli. Ainsi il n'est pas tout à fait surprenant d'observer une asymétrie pour cette tâche particulière.

De plus Pirot et al. (1977) en accord toujours avec nos résultats ont ajouté à l'existence d'une asymétrie perceptuelle favorisant l'hémisphère droit pour des stimulations colorées. Les sujets montraient une rapidité accrue de leurs temps de réponses lorsque les stimulations colorées étaient présentées de façon tachistoscopique en champ visuel gauche comparativement à une présentation en champ visuel droit. Nos observations s'ajoutent donc à celles favorisant l'hémisphère droit pour le traitement de l'information colorée et plus particulièrement celui impliquant la sensibilité spectrale.

Supériorité de l'hémirétine nasale.

L'absence d'effet significatif entre les deux hémirétines ne s'explique pas aisément. Toutefois au moins trois facteurs tributaires de la procédure peuvent être invoqués pour rendre compte de ces observations. Le premier correspond au type de variables mesurées qui permettent habituellement de conclure à l'existence d'une supériorité hémirétinienne. Ainsi la majeure partie des expériences qui ont montré une telle supériorité de

l'hémirétine nasale ont mesuré le temps de réaction pour la détection d'un point lumineux présenté soit sur la partie nasale ou temporale de la rétine (Maddess, 1974; Walls, 1953: voir Maddess 1974). De ce type de mesure, il est possible d'inférer une supériorité nasale basée sur le temps de réponse du sujet sans toutefois être renseigné sur l'exactitude de celle-ci. Par contre l'utilisation de l'exactitude comme variable dépendante contrairement à la rapidité pourrait certainement diminuer la possibilité d'observer un avantage fonctionnel hémirétinien, puisque les sujets ont tout le temps voulu pour répondre. Il est donc préférable de conclure que le temps d'exposition des stimulations est excessif pour qu'une différence fonctionnelle hémirétinienne soit notée, les deux hémirétines possédant amplement de temps pour acheminer correctement leur information vers les aires corticales visuelles.

Un deuxième facteur pouvant expliquer une telle absence concerne l'utilisation de la présentation monoculaire. Markovitz et Weitzman (1969) ainsi que Neil et al. (1971) ont observé que lors de stimulations monoculaires tachistoscopiques l'hémirétine temporale réagissait supérieurement à l'hémirétine nasale. Néanmoins cette remarque d'un renversement de supériorité fonctionnelle lors de présentation monoculaire ne correspond pas tout à fait avec ce que nous avons obtenu chez

nos sujets même s'il s'agissait de stimulations monoculaires. Par conséquent il semble que le premier facteur offre une explication davantage plausible que le second puisque les deux hémirétines nasale et temporale ont une sensibilité spectrale comparable

Enfin le troisième facteur implique la considération du nombre d'unités corticales activées pour chacune des conditions de présentation. Ainsi à dix degrés, peu importe l'hémirétine utilisée bien que le nombre de récepteurs pour la portion nasale comparativement à la portion temporale soit différent en nombre absolu, le nombre de cellules ganglionnaires activées par ceux-ci se trouve tout de même relativement équivalent selon Osterberg (1935) et Perry et Cowey (1985). Cette équivalence du nombre de cellules ganglionnaires expliquerait l'absence de différence entre les deux hémirétines puisque leurs projections au niveau cortical s'avèrent identiques en nombre. Enfin si l'on considère l'ensemble des facteurs énumérés, l'absence d'une asymétrie fonctionnelle hémirétinienne pour le traitement de la sensibilité spectrale est probablement associée au fait que les sujets possèdent amplement de temps pour que l'acheminement temporal présumément plus lent puisse s'effectuer normalement avant qu'une réponse ne soit émise.

Perception des couleurs en périphérie

Hors du domaine des asymétries perceptuelles visuelles favorisant soit un hémisphère ou une hémirétine par rapport à l'autre, la présente expérience soulève un intérêt pour la perception des couleurs en périphérie qui est mis en évidence par le tracé des courbes de sensibilité spectrale périphériques (voir appendice D). Comme il fut précédemment mentionné la courbe de sensibilité spectrale centrale coïncide bien avec la fonction $V(\lambda)$ proposée par la CIE. Par contre les courbes périphériques montrent une véritable augmentation de la sensibilité aux courtes longueurs d'onde bien que celle-ci ne soit pas significative globalement. Cette observation s'expliquerait par le fait que la zone fovéale est dénuée de bâtonnets contrairement à la région périphérique (voir fig. 9). Ainsi la contribution des bâtonnets en périphérie expliquerait par le fait même l'absence d'effet sur la courbe de sensibilité spectrale en vision centrale. Comme Stabell et Stabell (1980) l'ont indiqué la méthode utilisée est un facteur très important.

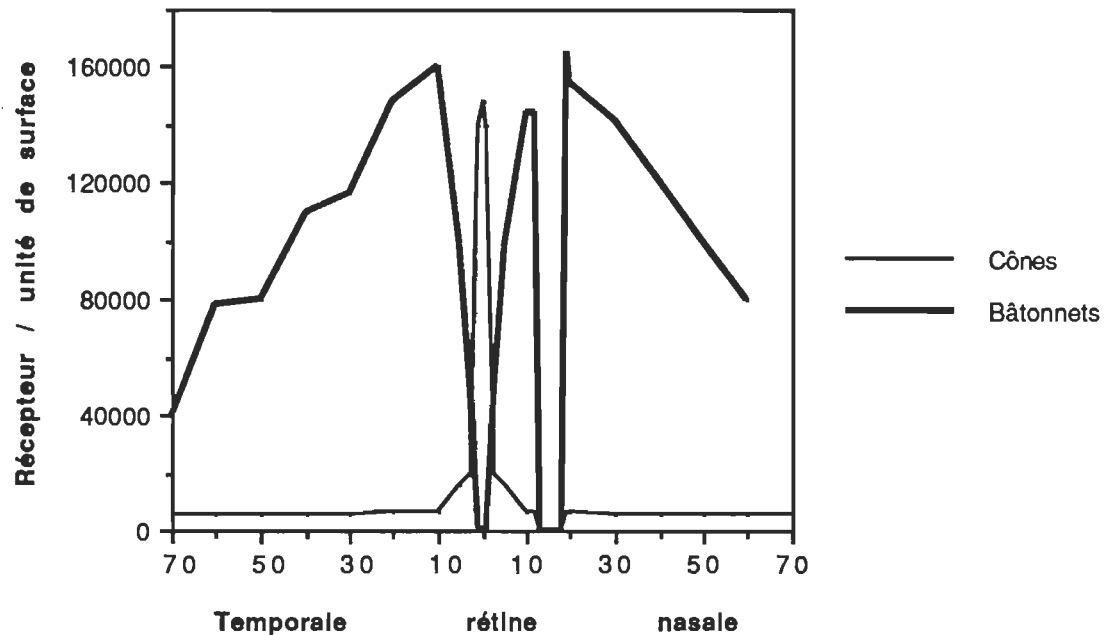


Fig. 9.- Distribution des cônes et bâtonnets

Ainsi pour prévenir l'intrusion des bâtonnets il est préférable de stimuler pendant la phase plateau de la courbe d'adaptation à l'obscurité. Toutefois en accord avec les résultats de la présente étude Wooten et al. (1975) ainsi que Abramov et Gordon (1977) ont observé une augmentation de la sensibilité aux courtes longueurs d'onde. Dans le but d'éclaircir leurs résultats Wooten et al. (1975) ont tenté de vérifier la contribution des bâtonnets à l'aide de l'effet Stiles-Crawford périphérique sans obtenir de succès. Cette

vérification n'a donc pas pu confirmer ou infirmer la participation des bâtonnets. Par contre, Van Esch et al. (1984) ont obtenu une courbe de sensibilité spectrale augmentée pour la région des courtes longueurs d'onde. Afin de déterminer si cette augmentation de la sensibilité spectrale au bleu était attribuable aux bâtonnets, ils ont examiné de très près l'étude d'Osterberg (1935). Ainsi de leur calcul du nombre de bâtonnets en fonction de l'excentricité; ils ont remarqué que le ratio de bâtonnets par unité d'aire à 8 degrés et 40 degrés est de 1.25 et 1.0 respectivement alors qu'il est de .25 à 80 degrés. De ces observations ils n'ont pu exclure la participation des bâtonnets dans l'établissement de leurs résultats. De plus le niveau d'illumination qu'ils ont utilisé était de 550 Trolands (Tds) photopiques soit égal à 135 (cd/m^2) alors que Wyszecki et al. (1967, voir Van Esch et al. 1984) ont montré que l'activité des bâtonnets saturait à un niveau d'illumination beaucoup plus élevé soit de 2000 à 5000 Tds (480 à 1230 (cd/m^2)). En conclusion, pour leur étude il est impossible d'exclure la participation des bâtonnets pour expliquer l'augmentation de la sensibilité au bleu. Pour cette raison, il est fort probable en ce qui nous concerne que l'augmentation de la sensibilité aux courtes longueurs d'onde observée pour les courbes périphériques traduise aussi une intrusion des bâtonnets compte tenu du niveau d'illumination (10 (cd/m^2)).

A l'appui de cette dernière proposition il est possible de remarquer l'absence d'une telle augmentation de la sensibilité aux courtes longueurs d'onde en vision centrale où les bâtonnets sont totalement exclus. Afin d'évaluer la sensibilité spectrale il est donc préférable de stimuler lors de la phase plateau de la courbe d'adaptation à l'obscurité afin d'obtenir une photométrie fiable concernant la sensibilité spectrale photopique puisque pendant cette période aucun bâtonnet n'interfère dans la production de la réponse.

Conclusion

Le but de cette expérience était de vérifier l'existence d'une asymétrie perceptuelle hémisphérique et hémirétinienne pour le traitement de la sensibilité spectrale. Pour ce faire les courbes de sensibilité spectrale ont été tracées chez quatre sujets humains pour chaque hémirétine séparément à l'aide de l'égalisation des brillances hétérochromatiques.

Les résultats ont indiqué à la fois, une supériorité de l'hémisphère droit surtout pour les moyennes longueurs d'onde (vert et jaune) et une absence de différence entre les hémirétines nasale et temporale. L'augmentation de la sensibilité spectrale aux courtes longueurs d'onde était reliée à une participation des bâtonnets.

Ces résultats confirment donc notre première hypothèse de travail voulant que l'hémisphère droit est supérieur au gauche pour le traitement de la sensibilité spectrale. Ceci supporte l'observation d'une perte de l'expérience colorée suite à une lésion de l'hémisphère droit. Par contre les résultats infirment notre seconde hypothèse selon laquelle l'hémirétine nasale est supérieure à sa consœur temporale pour l'extraction des caractéristiques spectrales.

Il semble que ce type de supériorité soit difficile à faire ressortir lorsque l'énergie et le temps pour effectuer la tâche sont suffisants. Une recherche ultérieure pourrait tenter, avec une procédure identique en variant le temps d'exposition des stimulations, de vérifier s'il existe un seuil critique autour duquel se manifeste une supériorité nasale.

Appendice A

Résultats au test de Dvorine

Résultats des sujets au test de Dvorine

Numéro des cartes	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet4
1	48	48	48	48
2	67	67	67	67
3	38	38	38	38
4	92	92	92	92
5	70	70	70	70
6	95	95	95	95
7	26	26	26	26
8	2	2	2	2
9	74	74	74	74
10	62	62	62	62
11	4	4	4	4
12	28	28	28	28
13	46	46	46	46
14	7	7	7	7
15	39	39	39	39
16	R	R	R	R
17	R	R	R	R
18	R	R	R	R
19	R	R	R	R
20	R	R	R	R
21	R	R	R	R
22	R	R	R	R
23	R	R	R	R

R: signifie que le sujet a réussi la tâche

Appendice B

Tableaux des résultats

Tableau 2

Tableau de la sensibilité spectrale
aux différentes longueurs d'onde du sujet 1
pour toutes les conditions de stimulations

longueurs d'onde	C	ng	tg	nd	td
452,7	.08	2.1	.87	.59	.72
495	.27	.97	.92	.63	1.4
516,2	.39	.46	1.13	1.07	.88
538,2	1.2	2.73	1.18	1.67	4.25
554,6	.93	1.26	1.23	1.09	2.9
605,7	.85	.26	.22	.28	.43
632,7	.08	.15	.18	.65	.10
678	.01	.004	.004	.004	.004

C: centrale binoculaire

ng: nasale gauche

tg: temporale gauche

nd: nasale droite

td: temporale droite

Tableau 3

Tableau de la sensibilité spectrale
aux différentes longueurs d'onde du sujet 2
pour toutes les conditions de stimulations

longueurs d'onde	C	ng	tg	nd	td
452,7	.06	3.6	1.32	1.22	1.25
495	.57	1.13	1.59	1.46	1.54
516,2	.69	.60	1.23	1.23	.97
538,2	1.1	1.26	1.97	3.07	2.17
554,6	.41	.6	.77	1.37	2.09
605,7	1.51	1.51	1.56	.7	2.94
632,7	.49	.75	.27	.15	.58
678	.083	.35	.008	.08	.09

C: centrale binoculaire

ng: nasale gauche

tg: temporale gauche

nd: nasale droite

td: temporale droite

Tableau 4

Tableau de la sensibilité spectrale
aux différentes longueurs d'onde du sujet 3
pour toutes les conditions de stimulations

longueurs d'onde	C	ng	tg	nd	td
452,7	.4	1.54	1.3	.72	.53
495	.84	1.51	1.59	1.46	1.54
516,2	.69	.60	2	.23	1.35
538,2	2.84	4.23	7.8	1.08	9.3
554,6	1.18	4.27	1.6	1.43	4.36
605,7	1.51	2.94	2.6	1.93	2.22
632,7	.15	.52	.58	.71	.85
678	.04	.012	.015	.05	.01

C: centrale binoculaire

ng: nasale gauche

tg: temporale gauche

nd: nasale droite

td: temporale droite

Tableau 5

Tableau de la sensibilité spectrale
aux différentes longueurs d'onde du sujet 4
pour toutes les conditions de stimulations

longueurs d'onde	C	ng	tg	nd	td
452,7	2.2	3.24	2.72	6.8	2.9
495	1.76	1.50	1.59	1.84	2.1
516,2	1.39	1.55	.81	1.55	1.33
538,2	6.94	9.9	2.49	8.01	7.8
554,6	2.74	2.81	2.08	2.51	4.92
605,7	2.22	2.51	1.20	2.13	2.4
632,7	.43	.66	.41	.73	.49
678	.04	.03	.01	.04	.02

C: centrale binoculaire

ng: nasale gauche

tg: temporale gauche

nd: nasale droite

td: temporale droite

Tableau 6

comparaison de la sensibilité spectrale
moyenne aux différentes longueurs d'onde pour
les conditions de stimulations centrale, nasale et temporale

longueurs d'onde	Centrale	nasale	temporale
452,7	.6850	2.4775	1.4512
495	.8600	1.1587	1.5612
516,2	.8550	1.0900	1.1337
538,2	3.0200	3.9937	4.6200
554,6	1.3150	1.9175	2.4937
605,7	1.5225	1.5337	1.6600
632,7	.2875	.5400	.4325
678	.0432	.0712	.0201

Nasale: moyenne des hémirétines nasale gauche + nasale droite

Temporale: moyenne des hémirétines temporale gauche + temporale droite

Tableau 7

comparaison de la sensibilité spectrale
moyenne aux différentes longueurs d'onde pour
les conditions de stimulations nasale et temporale

longueurs d'onde	nasale	temporale
452,7	2.4762	1.4512
495	1.1587	1.5612
516,2	1.0900	1.1337
538,2	3.9937	4.6200
554,6	1.9175	2.4937
605,7	1.5325	1.6600
632,7	.5400	.4325
678	.0712	.0201

Nasale: moyenne des hémirétines nasale gauche + nasale droite

Temporale: moyenne des hémirétines temporale gauche +
temporale droite

Tableau 8
Mesure de la transmission des filtres
chromatiques et achromatique

Chromatiques		Achromatiques		%
No	trans.	No	trans.	
47B	.38	.10	94.9	64%
44	9.93	.20	76,74	52%
40	28.8	.30	58.86	40%
74	4.01	.40	46.25	31%
99	10.1	.50	37.1	25%
72B	2.33	.60	27.8	19%
29	18.9	.70	22.3	15%
70	1.58	.80	19.2	13%
		.90	13.4	9%
		1.00	10.62	7%
		2.00	1.04	.7%

No: numéro du filtre

Trans.: transmission lumineuse mesurée en cd/m².

?: pourcentage de transmission nécessaire au calcul du P.E.S.

Tableau 9

P.E.S. pour le sujet 1
exprimés en cd/m^2

longueurs d'onde	C	ng	tg	nd	td
452,7	.75	19.8	8.32	5.52	6.78
495	9.9	36.07	34.2	23.36	51.28
516,2	17.75	21.03	51.28	48.78	39.77
538,2	5.14	11.72	5	7.16	18
554,6	9.52	12.78	12.54	10.62	29.6
605,7	3.49	1.08	.91	1.16	1.71
632,7	6.17	11.44	13.94	48.78	8.32
678	.82	.30	.28	.3	.29

C: centrale binoculaire

ng: nasale gauche

tg: temporale gauche

nd: nasale droite

td: temporale droite

Tableau 10

P.E.S. pour le sujet 2
exprimés en cd/m^2

longueurs d'onde	C	ng	tg	nd	td
452,7	5.65	34.26	12.5	11.55	11.72
495	21.03	41.62	58.86	53.8	56.3
516,2	31.5	27.8	56.32	56.32	44.2
538,2	4.76	5.38	8.32	13.1	9.1
554,6	4.15	6.17	7.95	13.9	21.3
605,7	6.17	6.17	6.41	2.85	12
632,7	37	56.32	20.55	11.44	44.2
678	6.54	27.8	.65	6.17	7.2

C: centrale binoculaire

ng: nasale gauche

tg: temporale gauche

nd: nasale droite

td: temporale droite

Tableau 11

P.E.S. pour le sujet 3
exprimés en cd/m^2

longueurs d'onde	C	ng	tg	nd	td
452,7	3.77	14.5	12.3	6.78	5
495	30.5	55.2	73.3	8.32	50
516,2	43.5	58.9	71.3	44.4	52.6
538,2	12	18.02	33.3	4.62	39.8
554,6	12	43.5	16.1	14.6	44.4
605,7	6.17	12	10.62	7.95	7.9
632,7	11.72	38.9	44.4	53.8	64.1
678	3.12	.95	1.2	3.57	.678

C: centrale binoculaire

ng: nasale gauche

tg: temporale gauche

nd: nasale droite

td: temporale droite

Tableau 12

P.E.S. pour le sujet 4
exprimés en cd/m^2

longueurs d'onde	C	ng	tg	nd	td
452,7	21	30.5	25.56	64.23	27.2
495	64.23	55.16	59.04	68.	76.7
516,2	64.23	71.26	37	71.26	59
538,2	29.6	42.6	10.6	34.3	33.4
554,6	27.8	28.8	21.34	25.6	50.2
605,7	9,08	10.24	4.81	8.7	9.87
632,7	32.37	50.1	31.45	54.8	37
678	2.98	2.4	.86	3.29	1.3

C: centrale binoculaire

ng: nasale gauche

tg: temporale gauche

nd: nasale droite

td: temporale droite

Tableau 13

Produit P.E.S./Phot. pour le sujet 1.

longeurs d'onde	centrale	ng	tg	nd	td
452,7	2	52.5	22.1	14.7	18
495	1	3.6	3.4	2.35	5.2
516,2	.62	.73	1.8	1.7	1.4
538,2	1.28	2.9	1.25	1.78	4.5
554,6	.94	1.27	1.24	1.1	2.93
605,7	1.5	.46	.39	.50	.74
632,7	.33	.61	.74	2.6	.44
678	.52	.19	.18	.19	.18

ng: nasale gauche

tg: temporale gauche

nd: nasale droite

td: temporale droite

Tableau 14

Produit P.E.S./Phot. pour le sujet 2.

longeurs d'onde	centrale	ng	tg	nd	td
452,7	15	90.9	33.3	30.6	31.1
495	2.1	4.2	5.9	5.4	5.7
516,2	1.1	.96	1.95	1.95	1.54
538,2	1.18	1.34	2.1	3.26	2.3
554,6	.41	.61	.78	1.38	2.1
605,7	2.65	2.65	2.75	1.22	5.15
632,7	1.96	2.99	1.09	.61	2.36
678	4.15	17.6	.42	3.9	4.5

ng: nasale gauche

tg: temporale gauche

nd: nasale droite

td: temporale droite

Tableau 15

Produit P.E.S./Phot. pour le sujet 3.

longeurs d'onde	centrale	ng	tg	nd	td
452,7	10	38.5	32.5	18	13.3
495	3.1	5.6	7.4	.84	5.03
516,2	1.51	2.05	2.48	1.54	1.83
538,2	2.99	4.5	8.3	1.15	9.9
554,6	1.19	4.3	1.61	1.44	4.4
605,7	2.65	5.15	4.56	3.4	3.39
632,7	.62	2.36	2.36	2.85	3.4
678	1.97	.76	.76	2.26	.43

ng: nasale gauche

tg: temporale gauche

nd: nasale droite

td: temporale droite

Tableau 16

Produit P.E.S./Phot. pour le sujet 4.

longeurs d'onde	centrale	ng	tg	nd	td
452,7	55	81	68	170	72
495	6.5	5.55	5.9	6.8	7.7
516,2	2.2	2.47	1.29	2.47	2.1
538,2	7.38	10.61	2.65	8.5	8.3
554,6	2.75	2.83	2.1	2.53	4.95
605,7	3.9	4.4	2.10	3.74	4.2
632,7	1.72	2.66	1.67	2.9	1.96
678	1.89	1.52	.54	2.09	.83

ng: nasale gauche

tg: temporale gauche

nd: nasale droite

td: temporale droite

Appendice C

Tableaux des analyses de variance

Analyses de variance

Tableau sommaire de la première ANOVA.

Source de variation	degré de liberté	somme des carrés	moyenne carré	F	p
Sujets	3	44.703	14.901		
A	1	7.411	7.411	21.131	.0193
erreur	3	1.052	.351		
B	1	.176	.176	.049	.8386
erreur	3	10.69	3.563		
AB	1	.828	.828	.430	.5588
erreur	3	5.778	1.926		
C	7	188.303	26.9	8.134	.0001
erreur	21	69.453	3.307		
AC	7	14.621	2.089	2.306	.0654
erreur	21	19.022	.906		
BC	7	7.701	1.1	.547	.7892
erreur	21	42.221	2.011		
ABC	7	3.875	.554	1.608	.1880
erreur	21	7.232	.344		

A: hémisphère

B: hémirétine

C: longueur d'onde

Analyse de variance

Tableau sommaire de la seconde ANOVA

Source de variation	degré de liberté	somme des carrés	moyenne carré	F	p
sujets	3	36.209	12.07		
A	2	6.805	3.403	3.139	.1167
erreur	6	6.503	1.084		
B	7	112.902	16.129	7.165	.0002
erreur	21	47.271	2.251		
AB	14	8.997	.643	1.082	.4
erreur	42	24.942	.594		

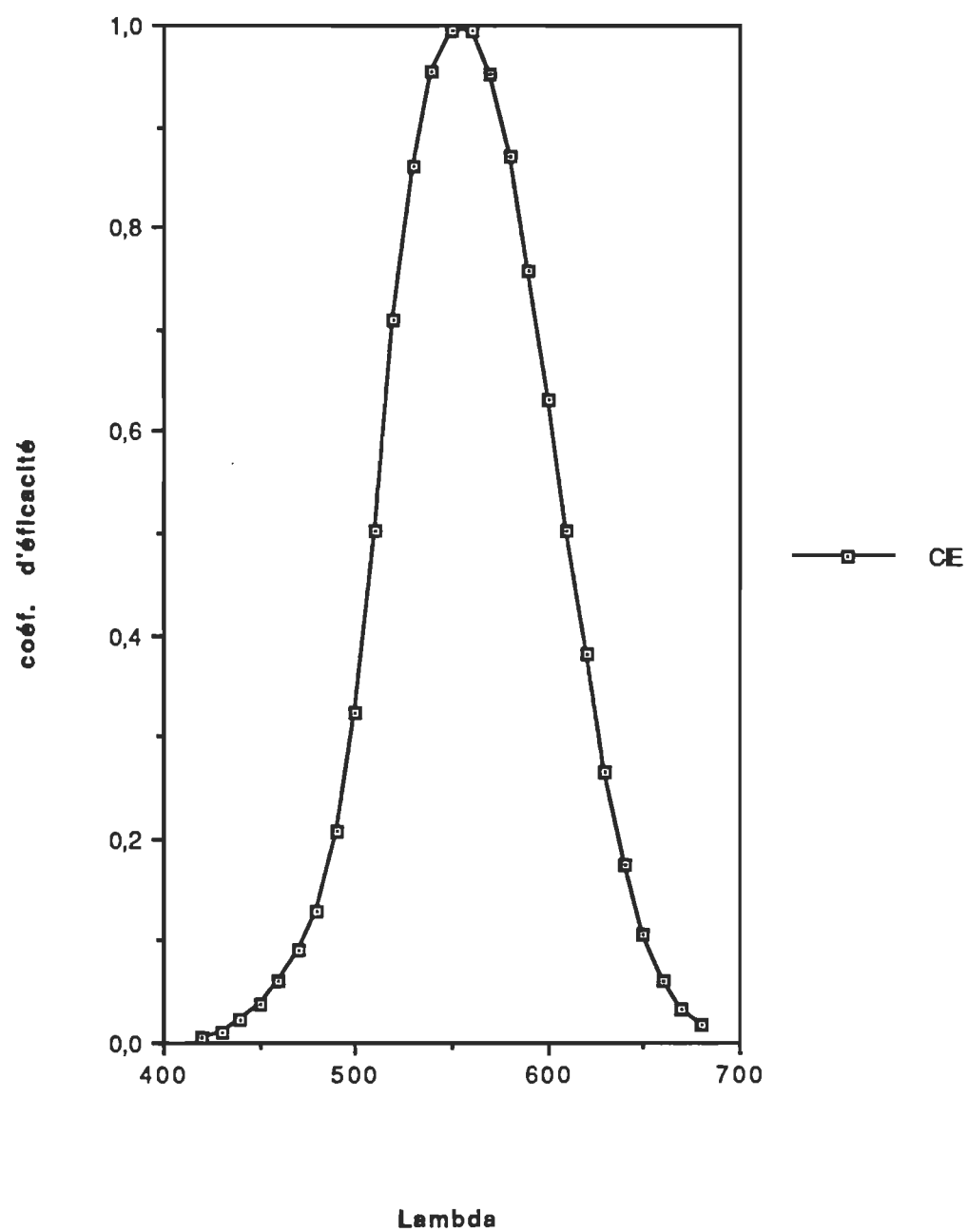
A: hémirétine

B: longueur d'onde

Appendice D

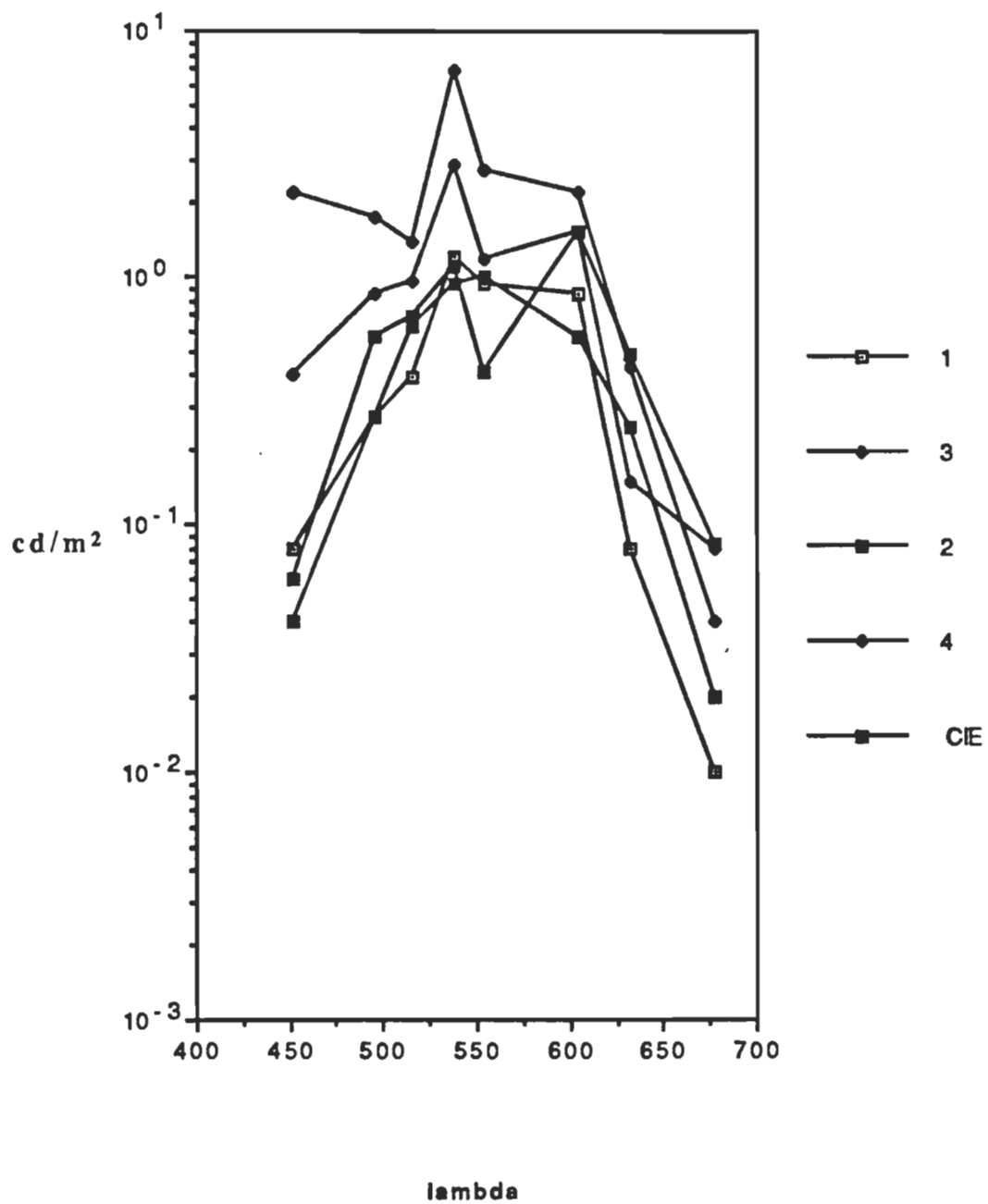
Courbes de sensibilité spectrale

Courbe d'efficacité lumineuse de la C.I.E.



Courbe de sensibilité spectrale
en vision centrale

Sensibilité exprimée en cd/m^2 sur une échelle logarithmique



Courbes de sensibilité spectrale

du sujet 1 pour chacune des conditions de stimulation

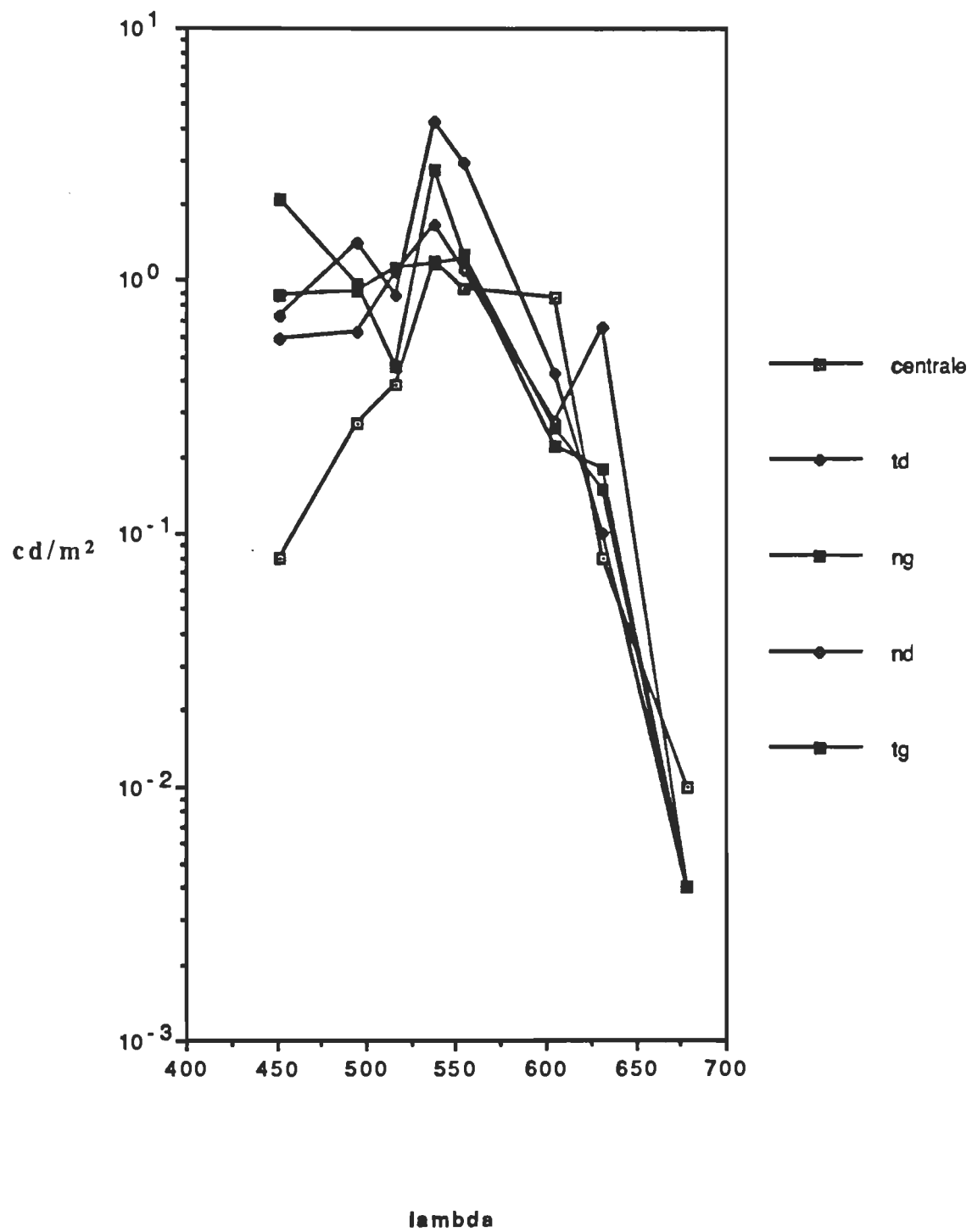
hémirétine temporale droite: td

hémirétine nasale gauche: ng

hémirétine nasale droite: nd

hémirétine temporale gauche: tg

Sensibilité exprimée en cd/m^2 sur une échelle logarithmique



Courbes de sensibilité spectrale

du sujet 2 pour chacune des conditions de stimulation

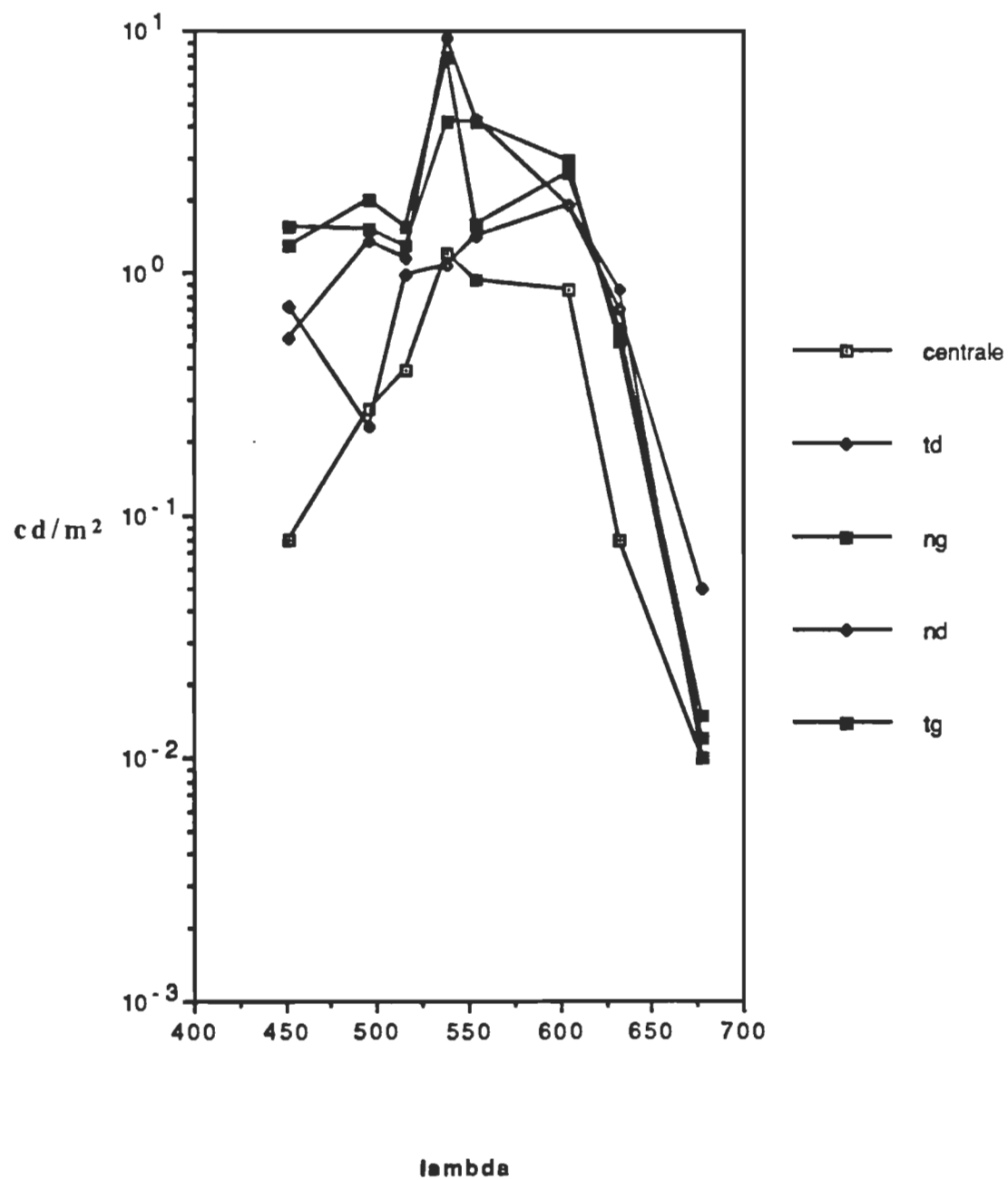
hémirétine temporale droite: td

hémirétine nasale gauche: ng

hémirétine nasale droite: nd

hémirétine temporale gauche: tg

Sensibilité exprimée en cd/m^2 sur une échelle logarithmique



Courbes de sensibilité spectrale

du sujet 3 pour chacune des conditions de stimulation

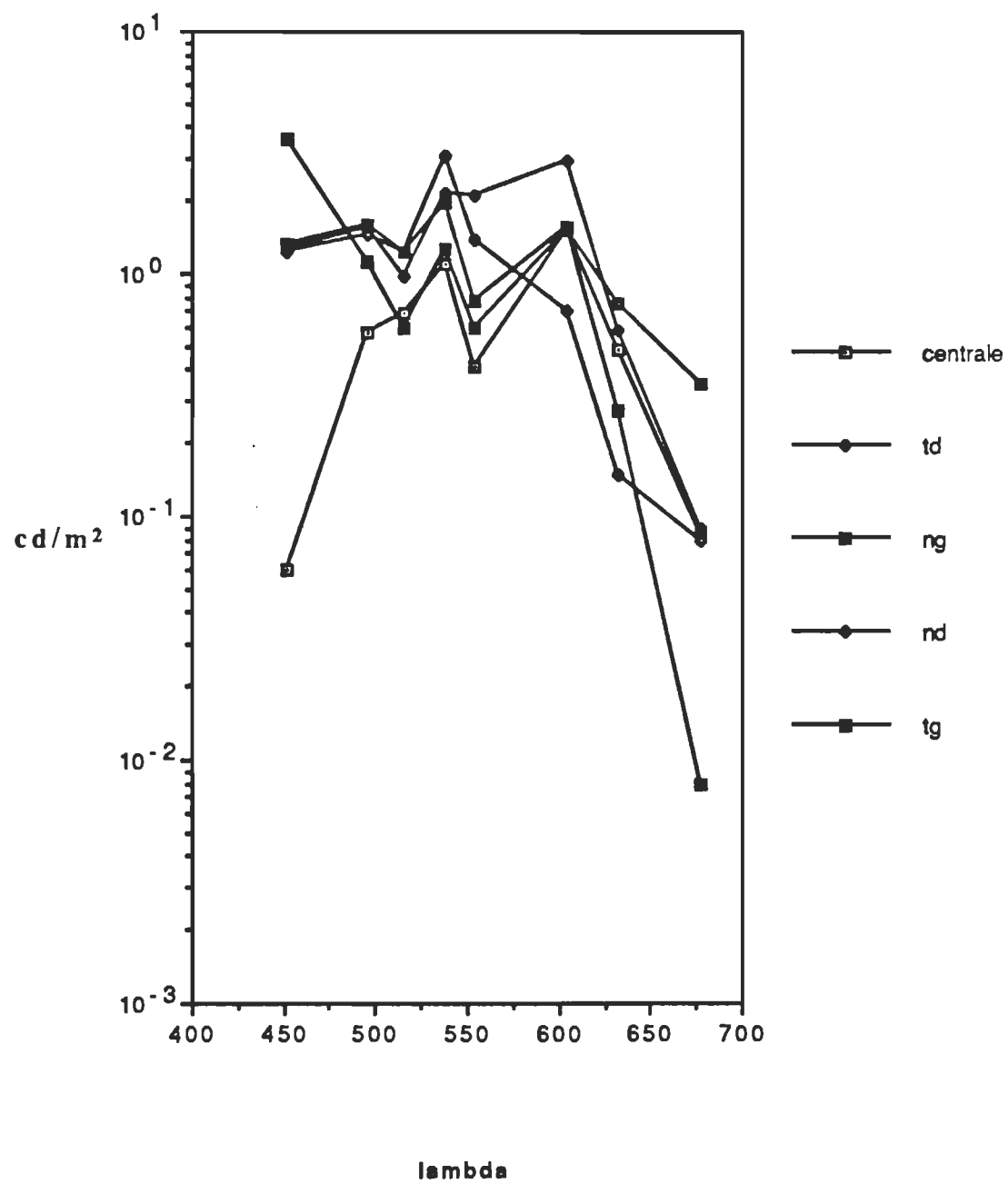
hémirétine temporale droite: td

hémirétine nasale gauche: ng

hémirétine nasale droite: nd

hémirétine temporale gauche: tg

Sensibilité exprimée en cd/m^2 sur une échelle logarithmique



Courbes de sensibilité spectrale

du sujet 4 pour chacune des conditions de stimulation

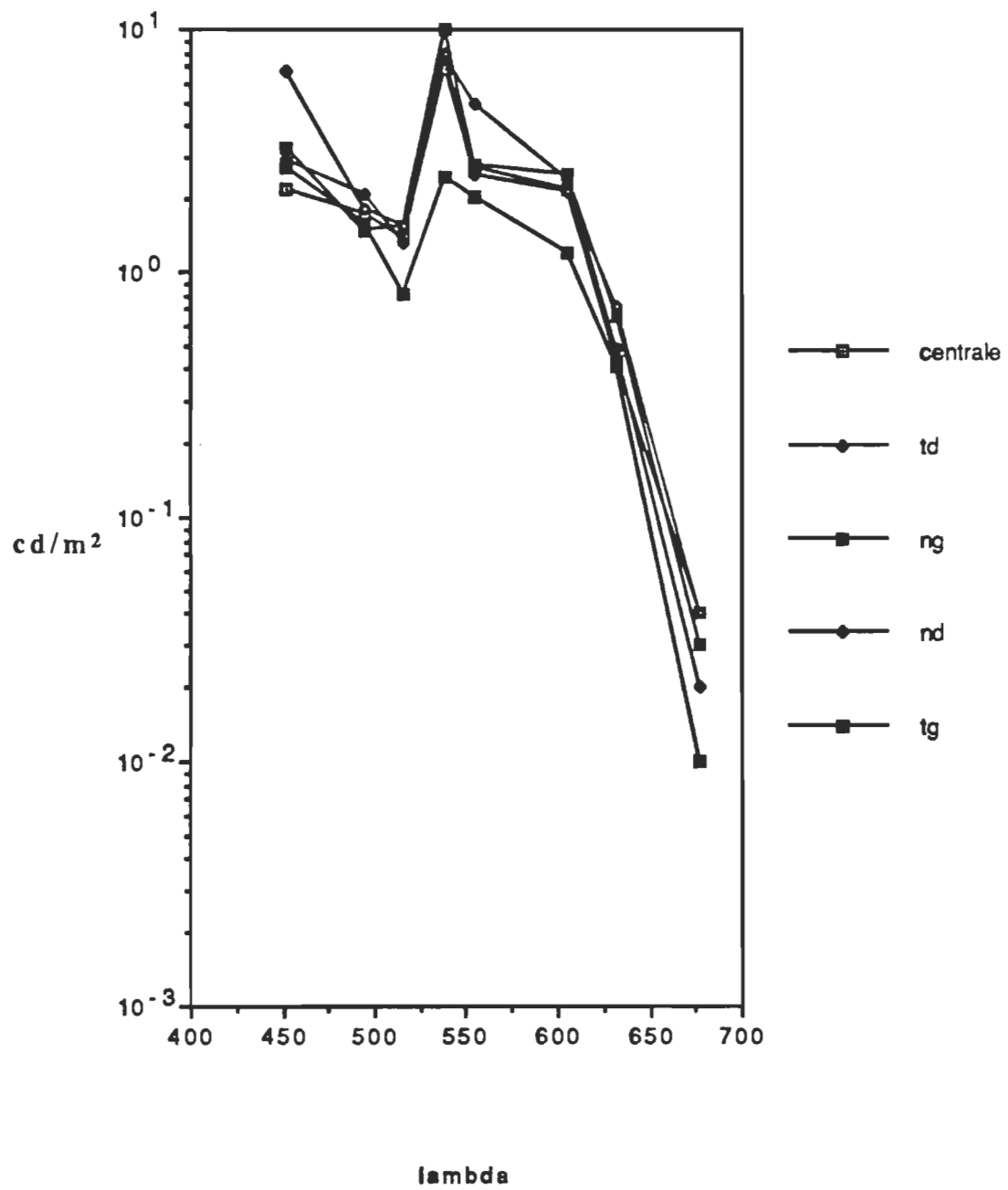
hémirétine temporale droite: td

hémirétine nasale gauche: ng

hémirétine nasale droite: nd

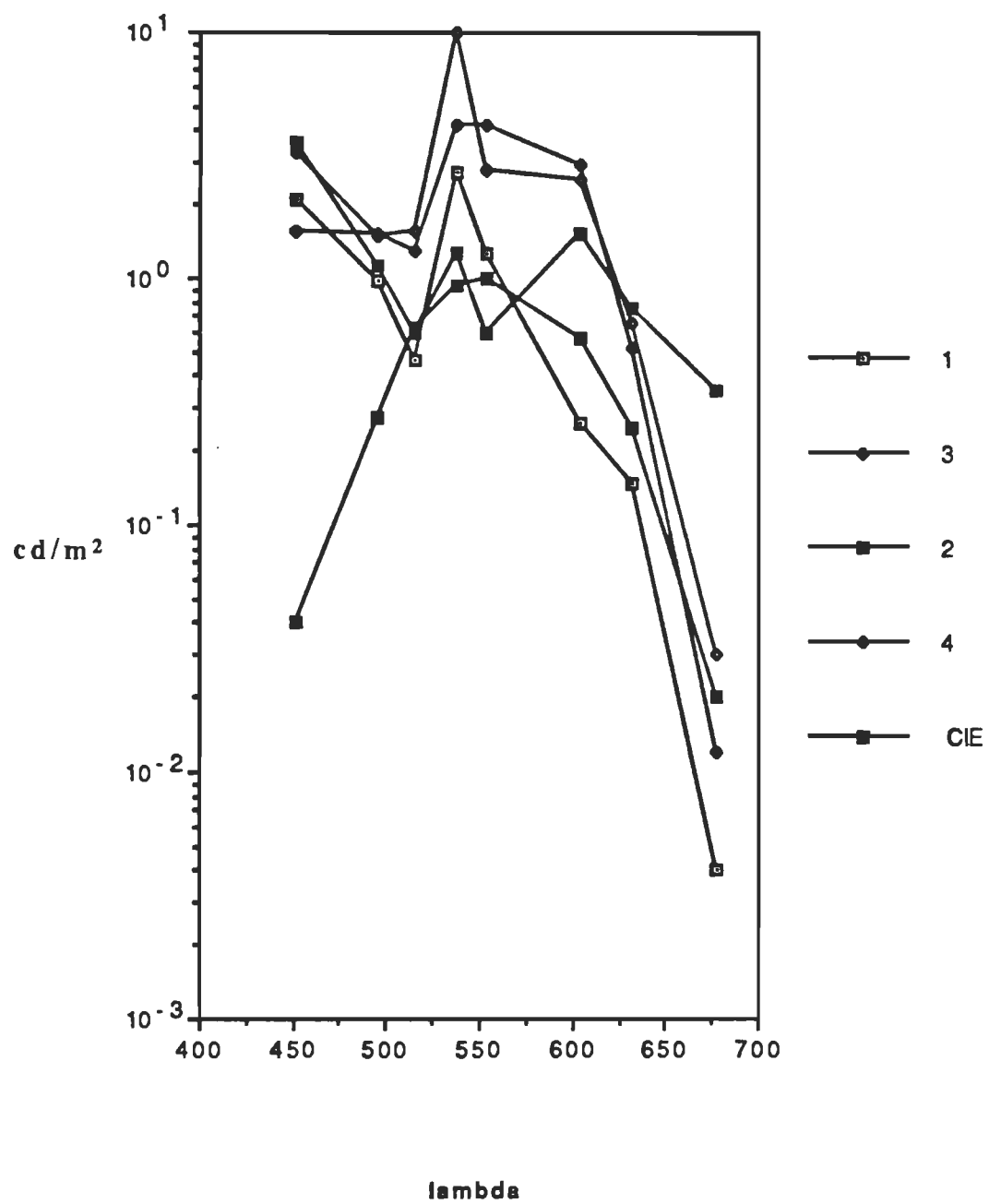
hémirétine temporale gauche: tg

Sensibilité exprimée en cd/m^2 sur une échelle logarithmique



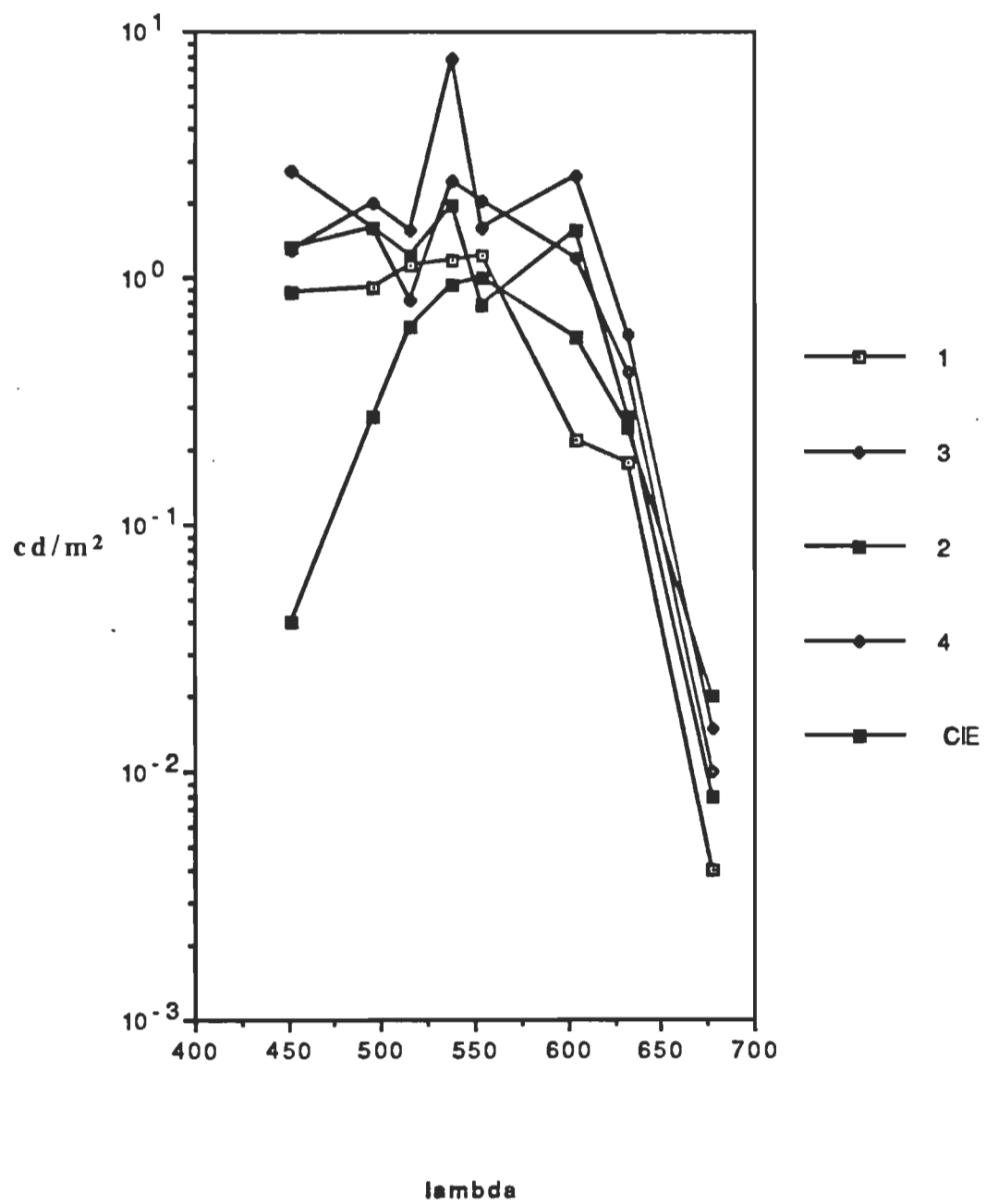
Courbes de sensibilité spectrale
de tous les sujets pour une stimulation
de l'hémirétine nasale gauche

Sensibilité exprimée en cd/m^2 sur une échelle logarithmique



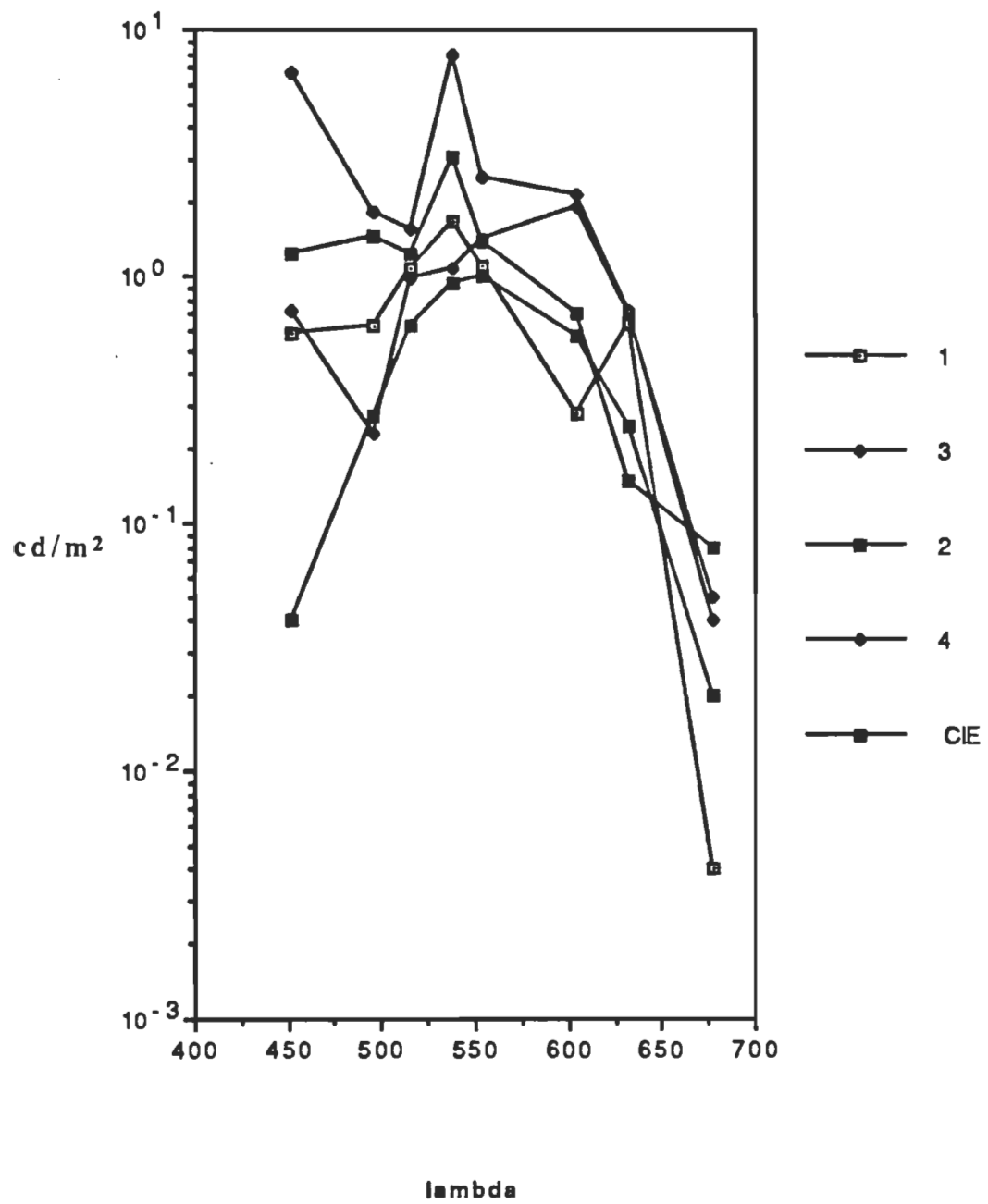
Courbes de sensibilité spectrale
de tous les sujets pour une stimulation
de l'hémirétine temporale gauche

Sensibilité exprimée en cd/m^2 sur une échelle logarithmique



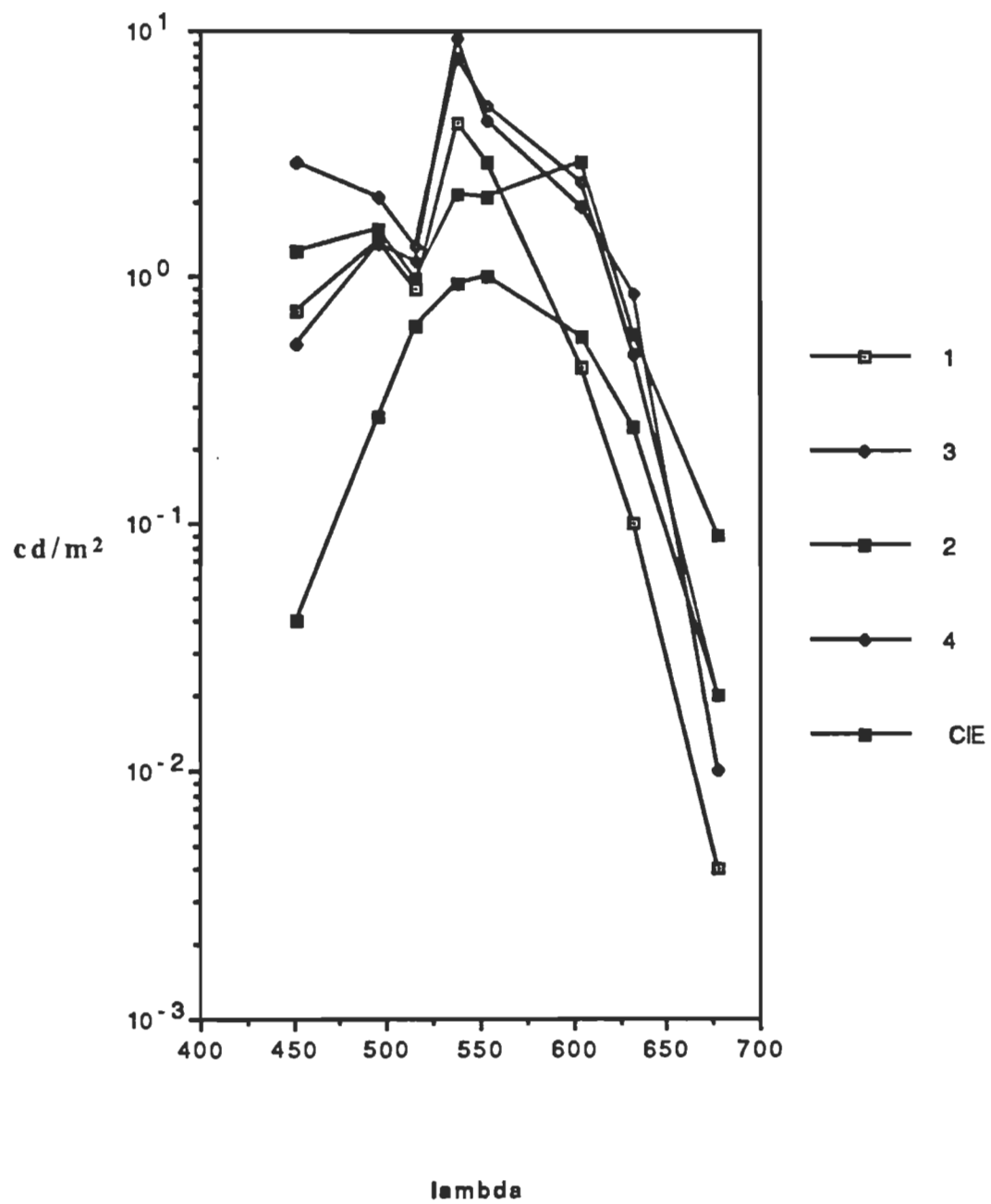
Courbes de sensibilité spectrale
de tous les sujets pour une stimulation
de l'hémirétine nasale droite

Sensibilité exprimée en cd/m^2 sur une échelle logarithmique



Courbes de sensibilité spectrale
de tous les sujets pour une stimulation
de l'hémirétine temporale droite

Sensibilité exprimée en cd/m^2 sur une échelle logarithmique

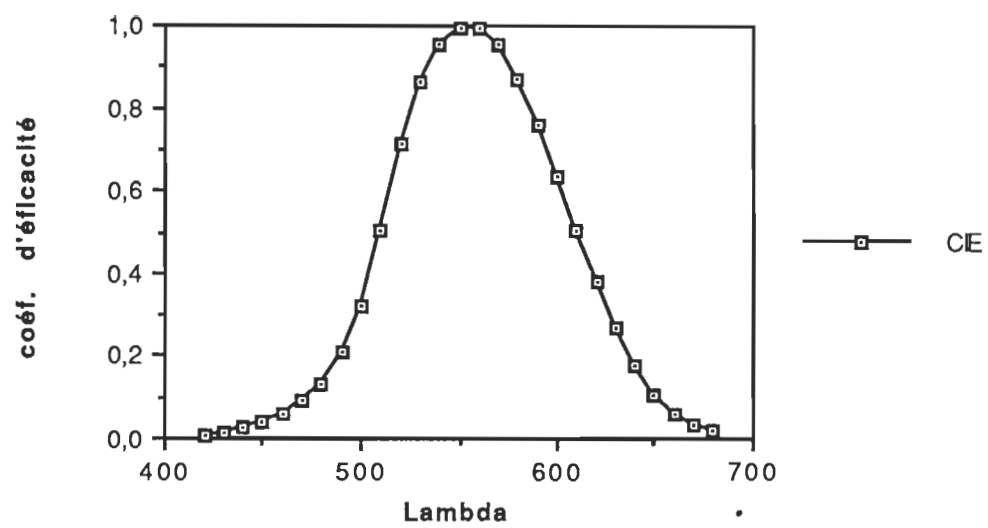


Appendice E

Tableau des valeurs correspondant
à la fonction de sensibilité spectrale de la C.I.E.

Tableau de la C.I.E.
fonction de sensibilité spectrale photopique

longueurs d'onde	$V(\lambda)$	longueurs d'onde	$V(\lambda)$
420	.004	560	.995
430	.011	570	.952
440	.023	580	.870
450	.038	590	.757
460	.060	600	.631
470	.091	610	.503
480	.129	620	.381
490	.208	630	.265
500	.323	640	.175
510	.503	650	.107
520	.710	660	.061
530	.862	670	.032
540	.954	680	.017
550	.995		



Courbe de sensibilité spectrale proposé par la C.I.E.

Remerciements

L'auteur désire exprimer sa gratitude à son directeur de mémoire, Monsieur Maurice Ptito, Ph.D., professeur titulaire, à qui il est redevable d'une assistance constante et éclairée.

De plus l'auteur tient à exprimer sa reconnaissance aux personnes qui lui ont fourni une assistance précieuse comme conseillers (ère) au cours de cette recherche: Franco Leporé, Ph.D., Maryse Lassonde, Ph.D., Claude Dubé, M.Ps, Jean-Paul Guillemot, Ph.D., William Larson, Ph.D.

Il remercie sincèrement les personnes qui ont participé comme sujets à l'expérimentation: Sylvain Miljours, Stéphane Quessy, Claude Dubé, Pascale Bouchard. Sans eux, il aurait été impossible de la réaliser.

Références

- ABRAMOV, I., GORDON, J.** (1977). Color vision in the peripheral retina: 1. spectral sensitivity. Journal of the optical society of america, 67, 195-202
- ARRIGONI, G., DE RENZI, E.** (1964). Constructional apraxia and hemispheric locus of lesion. Cortex, 1, 170-197.
- BEAUMONT, J. G.** (1982) Divided visual field studies of cerebral organisation. New York, Academic Press.
- BEHRENS, S.** (1985). The perception of stress and lateralization of prosody. Brain and language, 26, 332-348.
- BROWN, J. W., HECAEN, H.** (1976). Lateralization and language representation. Neurology, 26, 183-189.
- CARMON, A., BECHTOLDT, H.** (1969). Dominance of the right cerebral hemisphere for stereopsis. Neuropsychologia, 7, 29-39.
- CHELAZZI, L., MARZI, C. A., PANOZZO, G., PASQUALINI, N., TASSINARI, G., TOMAZZOLI, L.** (1988). Hemiretinal differences in speed of light detection in esotropic amblyopes. Vision research, 28, no 1, 95-104.
- C.I.E.** (1978). CIE publication No 41(Tc-1,4), Bureau centrale de la CIE, Paris.

- COMERFORD,J.P.,KAISER,P.K.** (1975). Luminous efficiency functions determined by heterochromatic brightness matching. Journal of the optical society of America, 65, 466-468.
- COHEN,G.** (1982). Theoretical interpretations of lateral asymmetries. In J. G. Beaumont (Ed.). Divided visual field studies of cerebral organisation. Academic press Inc., London, England. 87-111
- CORBALLIS, M. C. ET SERGENT, J.** (1989). Mental rotation in a commissurotomed subject. Neuropsychologia, 27, 495-521.
- CRITCHLEY,M.** (1965). Acquired anomalies of colour perception of central origin. Brain, 88, 711-724.
- CROVITZ,H.F.,LIPSCOMB,D.B.** (1963). Dominance of the temporal visual field at a short duration of stimulation. American journal of psychology, 75, 631-637.
- DAMASIO,A.R.,DAMASIO,H.,VAN HOESEN,G.** (1982). Prosopagnosia: anatomic basis and behavioral mechanisms. Neurology, 32 331-341.
- DAVIDOFF,J.B.**(1975). Hemispheric differences in the perception of lightness. Neuropsychologia, 13, 121-124.
- DAVIDOFF,J.B.**(1976). Hemispheric sensitivity differences in the perception of colour. Quarterly Journal of experimental psychology, 28, 387-394.

- DAVIDOFF, J.B.** (1982). Studies with non-verbal stimuli. In J.G. Beaumont (Ed): Divided visual field studies of cerebral organisation. Academic Press, New-York, 29-55.
- DOTY, R.W.** (1958). Potentials evoked in cat cerebral cortex by diffuse and punctiform photic stimuli. Journal of neurophysiology, 21, 437-464.
- DVORINE, ISRAEL** (1944). Dvorine color plates, Pseudo-isochromatic plates, second edition, The psychological corporation.
- DYSON, M., WATKINS, A.** (1984). A figural approach to the role of melodic contour in melody recognition. Perception and psychophysic, 35, 477-488.
- ESCH, J.A. VAN, KOLDENKHOF, E.E., DOORN, A.J. VAN, KOENDERINK, J.J.** (1984). Spectral sensitivity and wavelength discrimination of the human peripheral visual field. Journal of the optical society of america 1, 443-450.
- GALABURDA, A.M., LE MAY, M. KEMPER T.L.** (1978). Right-left asymmetries in the brain. Science, 199, 852-856.
- GAZZANIGA, M.S.** (1967). The split-brain in man. Scientific American 217, no.2, 24-29.
- GESHWIND, N., LEVITSKY, W.** (1968). Human brain: left-right asymmetries in temporal speech region. Science, 161, 186-187.

- GRAYBIEL,A.M.,NAUTA,W.J.H.** (1971). Some projections of the superior colliculus and visual cortex upon the posterior thalamus in the cat. Anatomical record,169, 328-341.
- HECAEN,H.**(1977). La dominance cérébrale. La recherche, 8, 238-244.
- HEILMAN,K.M.,SCHOLLES,R.,WATSON,R.T.** (1975). Auditory affective agnosia: Disturbed comprehension of affective speech. Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry, 38, 69-72.
- HELLIGE,J.B.,COX P.J.** (1976). Effects of concurrent verbal memory on recognition of stimuli from the left and right visual fields. Journal of experimental psychology: human perception and performance,2, 210-221.
- HUBEL,D.H.,WIESEL,T.N.** (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. Journal of physiology, 160, 106-154.
- JOHNSON,M.A.**,(1986). Color vision in the peripheral retina. American journal of optometry and physiological optics, 63, 97-103
- KAPLAN,E.,SHAPLEY,R.** (1982). X and Y cells in the lateral geniculate nucleus of macaque monkeys. Journal of physiology, 330, 125-143.

- KIRK,R.E.** (1982). Experimental design: procedures for the behavioral sciences. Second edition, Brooks and Cole publishing company, Monterey, California, U.S.A.
- KIMURA,D.**(1966). Dual functionnal asymmetry of the brain in visual perception. Neuropsychologia. 4. 275-285.
- KIMURA,D.**(1967). Functionnal asymmetry of the brain in dichotic listening. Cortex. 3. 163-178.
- KIMURA,D., DURNFORD,M.** (1974). Normal studies on the function of the right hemisphere in vision. In S.J. Dimond et J.G.Beaumont (Eds.): Hemisphere function in the human brain, Paul Elek Ltd, London, June, 1974.
- KINSBOURNE,M.** (1974). Mechanisms of hemispheric interaction in man. In M. Kinsbourne and W.L. Smith (Eds): Hemispheric disconnection and cerebral function. Charles C.Thomas Springfield, Illinois, 260-285.
- LE MAY,M.** (1976). Morphological cerebral asymmetries of modern man, and non-human primate. Annual New-York academy of science ,280. 349-366.
- LENNIE,P.** (1980). Parallel pathways in the visual system. Vision research,20. 561-594.
- LEPORE,F.,CARDU,B.,RASMUSSEN,T.,MALMO,R.B.** (1975). Rod and cone sensitivity in destriate monkeys. Brain research. 93. 203-221.

- LEVY,J.,TREVARTHEN,C.** (1976). Metacontrol of hemispheric function in human split-brain patients. Journal of experimental psychology: human perception and performance,2, 299-312.
- LEVY,J.,TREVARTHEN,C.,SPERRY,R.W.** (1972). Perception of bilateral chimeric figures folowing hemispheric deconnection. Brain, 95, 61-78.
- LIE,I.** (1963). Dark adaptation and the photochromatic interval. Documenta ophthalmologica,17, 411-510.
- LIVINGSTONE,M.,HUBEL,D.H.** (1988). Segregation of form, color,movement, and depth: anatomy, physiology and perception. Science,240, 740-749.
- MADDESS,R.J.** (1974). Reaction time to hemiretinal stimulation. Neuropsychologia, 13, 213-218.
- MARKOVITZ,H.,WEITZMAN,D.O.** (1969). Monocular recognition of letters and Landolt C's in left and right visual hemifields. Journal of experimental psychology human perception and performance, 79, 187-189.
- MARZI,C.A.,ANTONUCCI,G.,PIZZAMIGLIO,L.** (1982). Hemiretinal differences in the effect of a rotating visual background on the subjective visual vertical. Behavioral brain research, 5, 319-324.

- MARZI,C.A.,DI STEFANO,M.** (1981). Hemiretinal differences in visual perception. Documenta ophtalmologica proceeding series, 30, 273-278.
- MARZI,C.A.,DI STEFANO,M.,TASSINARI,G.,CREA,F.** (1979). Iconic storage in the two hemispheres. Journal of experimental psychology: human perception and performance, 5, 31-41.
- MILNER,B.** (1962). Laterality effects in audition. In V.B. Mountcastle (Ed): Interhemispheric relations and cerebral dominance. Baltimore, John Hopkins University Press.
- MILNER,B.,BRANCH,C.,RASMUSSEN,T.** (1964). Observations on cerebral dominance. In A.V.S. De Reuck and M. O'Connor (Eds.): Disorders of language. Churchill,London, 200-222.
- MILNER,B., TAYLOR, L.** (1972). Right hemisphere superiority in tactile pattern recognition after cerebral commissurotomy: Evidence for nonverbal memory. Neuropsychologia, 10, 1-15.
- MOSCOVITCH,M.,KLEIN,D.** (1980). Perceptual interference for visual words and faces: implications for models of capacity limitations, attention and laterality. Journal of experimental psychology: human perception and performance, 6, 590-604.
- NEIL,D.O.,SIMPSON,H.,GRIBBEN,J.A.** (1971). Hemiretinal effects in tachistoscopic letter recognition. Journal of experimental psychology, 91, 129-135.

- ØSTERBERG, G.** (1935). Topography of the layer of rods and cones in the human retina. Acta ophtalmologica, 6, 1-102.
- PERRY,H.,COWEY,A.** (1985). The ganglion cell and cone distribution in the monkey's retina: implications for central magnification factors. Vision research, 25, 1795-1810.
- PALLIS, C.A.** (1955). Impaired identification of faces and places with agnosia for colours. Journal of neurology,neurosurgery and psychiatry, 18, 218-224.
- PENNAL,B.E.** (1977). Human cerebral asymmetry in color discrimination. Neuropsychologia,15, 563-568.
- PERRY,V.H.,OEHLER,R.,COWEY,A.** (1984). Retinal ganglion cells that project to the dorsal lateral geniculate nucleus in the macaque monkey. Neuroscience,12, 1101-1123.
- PERETZ, I.** (Sous presse). Processing of local and global musical information by unilateral brain-damaged patients. Brain.
- PIROT,M.,PULTON,T.W.,SUTKER,L.W.** (1977). Hemispheric asymmetry in reaction time to color stimuli. Perceptual and motor skills, 45, 1151-1155.
- POFFENBERGER,A.T.** (1912). Reaction time to retinal stimulation with special reference through nerves centres. Archives of psychology, 23, p.1-73.
- RAINS, J. D.** (1963). Signal luminance and position effects in human reaction time. Vision research, 3, 239-251.

- ROSS, E. D.** (1981). The aprosodias: Functionnal-anatomic organization of the components of language in the right hemisphere. Archives of neurology, 38, 144-148.
- SAMPSON, H.** (1969). Recall of digits projected to temporal and nasal hemiretinas. Quarterly journal of experimental psychology, 21, 39-42.
- SCHNAPF, J. L., KRAFT, T. W., BAYLOR, D. A.** (1987). Spectral sensitivity of human cone photoreceptors. Nature, 325, 439-441.
- SERGENT, J.** (1982a). About face: Left hemisphere involvement in processing physiognomies. Journal of experimental psychology: human perception and performance, 8, 1-14.
- SERGENT, J.** (1982b). The cerebral balance of power: confrontation or cooperation? Journal of experimental psychology: human perception and performance, 2, 252-272.
- SERGENT, J.** (1983). Role of the input in visual hemispheric asymmetries. Psychological bulletin, 93, no 3, 481-512.
- SERGENT, J.** (1987). L'asymétrie fonctionnelle du cerveau. Dans Botez, M. I. (Ed): Neuropsychologie clinique et neurologie du comportement. Montréal, Presses de l'université de Montréal, Masson, 205-213

- SHAPLEY,R., PERRY,V.H.** (1986). Cat and monkey retinal ganglion cells and their visual functional roles. Trends in neurosciences, 9, 229-235.
- STABELL,B.,STABELL,U.**(1980). Spectral sensitivity in the far peripheral retina. Journal of the optical society of america,70, 959-963.
- STABELL,U.,STABELL,B.** (1976). Absence of rod activity from peripheral vision. Vision research, 16, 1433-1437.
- ST-ARNAUD,A.** (1987). Spécialisation hémisphérique et sensibilité spectrale. Mémoire inédit, Université du Québec à Trois-Rivières.
- STARK,R.** (1961). An investigation of unilateral cerebral pathology with equated verbal and visual-spatial tasks. Journal of abnormal and social psychology,62, 282-287.
- WADA,J.A.,CLARKE,R.,HAMM,A.** (1975). Cerebral hemisphere asymmetry in humans. Archives neurology, 32, 239-246.
- WAGNER,G.,BOYNTON,R.M.** (1972). Comparison of four methods of heterochromatic photometry. Journal of the optical society of America, 62, 1508-1515.
- WAPNER,W.,HAMBY,S.,GARDNER,H.** (1981). The role of the right hemisphere in the apprehension of complex linguistic materials. Brain and language, 14, 15-33.

- WEALE,R.A.** (1951). The foveal and para-central spectral sensitivities in man. Journal of physiology, 114, 435-446.
- WEALE.R.A.** (1953 a,b). Spectral sensitivity and wavelength discrimination of the peripheral retina. Journal of physiology Londre,119, 170-190.
- WITELSON,S.F.** (1977). Anatomical asymmetry in the temporal lobes: Its documentation phylogenesis and relationship to functional asymmetry. Annual New-York academic science,299, 328-356.
- WOODRUFF, M.,L.,BAISDEN,R.,H.** (1986). Theories of brain functioning: A brief introduction to the study of the brain and behavior. In Danny Wedding, Arthur MacNeil Horton, Jeffrey Webster (Eds): The neuropsychology handbook, Behavioral and clinical perspectives. Springer, New-York, 23-58.
- WOOTEN,B.B., FULD,K., SPILLMANN,L.** (1975). Photopic spectral sensitivity of the peripheral retina. Journal of the optical society of america, 65, 334-342.
- ZEKI,S.** (1980). The representation of colours in the cerebral cortex. Nature, 284, 412-418.